



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

**Universidad del Perú. Decana de América**

**Facultad de Ciencias Físicas**

**Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica de  
Fluidos**

**Evaluación técnica de la planta de agua helada del  
Centro Comercial Larcomar y selección de las bombas  
para el sistema de tuberías de agua de condensado**

**MONOGRAFÍA TÉCNICA**

**Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos**

**AUTOR**

**Edgard Anthony ANDRÉS LEÓN**

**Lima, Perú**

**2016**



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

## Referencia bibliográfica

---

Andrés, E. (2016). *Evaluación técnica de la planta de agua helada del Centro Comercial Larcomar y selección de las bombas para el sistema de tuberías de agua de condensado*. [Monografía técnica de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Físicas, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

---



# UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

(Universidad del Perú, Decana de América)

## FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

### ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA DE FLUIDOS

#### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE MONOGRAFÍA TÉCNICA PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECANICO DE FLUIDOS POR LA MODALIDAD M3, SUFICIENCIA PROFESIONAL

Siendo las 18:30 horas del día jueves 30 de junio de 2016 en el Aula 205 de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos, bajo la presidencia del MSc. Ing. DOUGLAS SARANGO JULCA y con la asistencia del Ing. HENRY PALA REYES y del Mg. Ing. EUSEBIO VEGA BUEZA, miembros del Jurado Examinador de Monografía Técnica, de conformidad con la Resolución Rectoral N° 01934-R-02 que aprueba las diferentes modalidades de titulación profesional, se dio inicio a la Sesión Pública de Sustentación de Monografía Técnica en la que el Bachiller EDGARD ANTHONY ANDRÉS LEÓN puso a consideración del Jurado Examinador su trabajo de Monografía Técnica como parte de los requisitos para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos por la Modalidad M3, Suficiencia Profesional.

El Presidente del Jurado Examinador dio lectura del Resumen del Expediente e invitó al Bachiller EDGARD ANTHONY ANDRÉS LEÓN, a realizar la exposición de su trabajo titulado "EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA PLANTA DE AGUA HELADA DEL CENTRO COMERCIAL LARCOMAR Y SELECCIÓN DE LAS BOMBAS PARA EL SISTEMA DE TUBERÍAS DE AGUA DE CONDENSADO" durante un tiempo de 30 minutos.

Concluida la exposición del candidato, y luego de las preguntas de rigor de parte del Jurado Examinador, el Presidente invitó al Bachiller a abandonar momentáneamente la sala de sesión para dar paso a la deliberación y calificación correspondiente. Se procedió a promediar la nota final obtenida en los cursos del Ciclo de Actualización Profesional (CAP), y el resultado se promedió a su vez con la nota de sustentación de la monografía para hallar el promedio final.

Al término de la deliberación del jurado, se invitó al candidato a regresar a la sala de sesión para dar lectura a la calificación final obtenida, la misma que fue:

.....Catorce..... 14.....

El Presidente del Jurado Examinador, MSc. Ing. DOUGLAS SARANGO JULCA, a nombre de la Nación y de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, declaró al Bachiller EDGARD ANTHONY ANDRÉS LEÓN Ingeniero Mecánico de Fluidos.

Siendo las 20:30 horas del mismo día, se levantó la sesión.

MSc. Ing. DOUGLAS SARANGO JULCA  
Presidente de Jurado Examinador

Ing. HENRY PALA REYES  
Miembro de Jurado Examinador

Mg. Ing. EUSEBIO VEGA BUEZA  
Miembro de Jurado Examinador

## **DEDICATORIA**

“A Dios por guiar mis pasos, a mis padres por el esfuerzo y sabiduría, a mis profesores por sus enseñanzas en todo el proceso de formación profesional.”

“A la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos por haberme permitido estar en sus instalaciones durante mi formación y el poder haber formado parte de esta prestigiosa institución.”

**Edgard Anthony Andrés León**

## Tabla de Contenido

### CAPITULO I - INTRODUCCION GENERAL

1.1 INTRODUCCION.....	1
1.2 PLANEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.3 JUSTIFICACION.....	3

### CAPITULO II – OBJETIVOS

2.1 Objetivo General.....	4
2.2 Objetivos Específicos.....	4

### CAPITULO III - FUNDAMENTO TEORICO

3.1 INTRODUCCION GENERAL.....	5
3.2 PLANTA DE AGUA HELADA CON CHILLER.....	5
3.2.1 El Chiller.....	5
3.2.1.1 Como funciona un chiller.....	6
3.2.1.2 Rendimiento.....	7
3.2.1.3 Chiller como climatizador.....	8
3.2.1.4 Fase de funcionamiento.....	9
3.2.1.5 Funcionamiento de un refrigerador de líquido Chiller para el acondicionamiento de ambientes.....	9
3.2.1.6 Características constructivas de un Chiller.....	10
3.2.1.7 Principio de operación.....	15
3.2.1.8 Fundamentos teóricos de aire acondicionado.....	17
3.2.1.8.1 Ciclo Inverso de Carnot.....	31
3.2.1.8.2 Ciclo de refrigeración.....	34
3.2.2 La Torre de Enfriamiento.....	37
3.2.2.1 Clasificación de la torre de enfriamiento.....	41
3.2.2.1.1 Torres de enfriamiento de tiro mecánico.....	41
3.2.2.1.1 Torre de enfriamiento de tiro forzado.....	41
3.2.2.1.2 Torre de enfriamiento de tiro inducido.....	43
3.2.2.1.2 Torres de enfriamiento de tiro natural.....	44
3.2.2.2 Partes de una torre de enfriamiento.....	45
3.2.2.3 Fundamentos teóricos de torres de enfriamiento.....	54
3.2.3 Bombas de agua.....	60
3.2.3.1 Circuitos cerrados de circulación.....	60
3.2.3.2 Elementos característicos de las bombas.....	61

3.2.3.3 Principio de funcionamiento de una bomba.....	62
3.2.3.4 Tipos de bombas.....	64
3.2.3.5 Curva característica de una bomba.....	67
3.2.4 Bomba centrífuga.....	70
3.2.4.1 Principio de funcionamiento de una bomba centrífuga.....	70
3.2.4.2 Clasificación de las bombas centrífugas.....	71
3.2.4.3 Bomba centrífuga con eje de giro en posición vertical.....	71
3.2.4.4 Fundamentos teóricos de bombas.....	73
3.2.5 Caudal.....	76
3.2.6 Ecuación general de la energía.....	77
3.2.7 Ecuación de Bernoulli.....	79
3.2.8 Ecuación de Darcy – Weisbach.....	81
3.2.9 Advertencia sobre un flujo en estado estacionario.....	83
CAPITULO IV – ÁREA DE ESTUDIO Y METODOLOGIA	
4.1 Área de estudio.....	85
4.2 Materiales.....	90
4.3 Metodología.....	91
CAPITULO V – CÁLCULOS Y RESULTADOS	
5.1 Cálculo de bombas.....	96
5.2 Resultados obtenidos.....	97
5.3 Reducción de costos de operación y mantenimiento.....	103
CAPITULO VI – CONCLUSIONES.....	
CAPITULO VII – RECOMENDACIONES.....	
CAPITULO VIII – BIBLIOGRAFIA.....	
ANEXOS.....	109

## **CAPITULO I – INTRODUCCION GENERAL**

### **1.1 INTRODUCCION**

Larcomar es un centro comercial de nivel internacional, ubicado en un acantilado que va hacia el mar, que le permite tener una espectacular vista al océano pacífico y a las playas Miraflores tales como Las Piedritas, La Estrella, Redondo, Makaha, Waikiki, La Pampilla, Punta Roquitas y Los Delfines..

Larcomar cuenta con una privilegiada vista del océano Pacífico y una ubicación estratégica que lo convierte hoy en uno de los centros comerciales más visitados del país, con un promedio de 500,000 visitas mensuales. Posee cuatro niveles en los cuales operan 144 locales comerciales y 72 tiendas menores, en los que figuran 12 salas de cine, museo, restaurantes, discotecas y diversión para todas las edades.

Este centro comercial cuenta con un mismo sistema de refrigeración el cual fue diseñado e instalado hace aproximadamente 15 años y hasta Junio del año pasado seguía funcionando. Debido al tiempo de uso de este sistema de climatización, se presentaban constantes fallas, deficiencias del mismo, por lo que los directivos del centro comercial decidieron renovar los equipos y se procedieron con la adquisición de nuevos y modernos equipos.

Se adquirieron dos chillers nuevos y estos reemplazaron a los chillers antiguos, también se reemplazarán las bombas de agua helada y las torres de enfriamiento y demás componentes.

En la presente monografía, se presentan el procedimientos y los cálculos necesarios para la selección de las nuevas bombas del sistema hidráulico actual de tuberías del sistema de condensación (agua de condensado), de la nueva planta de agua helada del Centro Comercial Larcomar.



## **1.2 PLANEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Todos los equipos mecánicos, electrónicos, hidráulicos, etc., tienen un tiempo de vida útil, cuando este tiempo de buen funcionamiento se agota por completo es necesario el cambio del equipo por uno nuevo que lo reemplace. En nuestro caso se aplica a todos los componentes de la planta de agua helada del Centro Comercial Larcomar el cual tiene aproximadamente 15 años de servicio y aun así seguía en funcionamiento, ocasionando inconvenientes y quejas del servicio por parte de los administradores de los locales comerciales, ya que por la antigüedad de los componentes el mantenimiento que se le daba era constante y por ende el gasto en mantenimiento era demasiado es por tal motivo que se le planteo a los directivos del centro comercial hacer una renovación total de la planta de agua helada, y recibiendo una respuesta positiva por parte de ellos.

En el centro comercial Larcomar existía un sistema de refrigeración que se componía por dos chillers de 350 Toneladas, dos torres de enfriamiento, tres bombas primarias, tres bombas secundarias y tres bombas de condensado, cuyos datos técnicos no se lograban distinguir por lo deteriorado que se encontraba la planta de agua helada.

En la presente monografía, se presenta los estudios del sistema de tuberías de agua de condensado para poder elaborar una propuesta de selección de las nuevas bombas para este sistema y así obtener un buen funcionamiento de los nuevos chillers y del sistema de condensación (torre de enfriamiento), y lograr de esta forma una buena climatización de los locales comerciales de Larcomar y poder brindar la comodidad y el confort de sus visitantes.

### **1.3 JUSTIFICACION**

La climatización en un ambiente es siempre de suma importancia, no sólo por el confort de los visitantes sino también para el cuidado y buen uso de los equipos emanadores de calor que existan en él, tales como: computadoras, monitores equipos electrónicos, etc.

El Centro Comercial Larcomar posee muchos establecimientos en su interior, el garantizar que en estos establecimientos haya una adecuada climatización diariamente, sin restricción alguna, asegura un agradable ambiente para los clientes nacionales y extranjeros que día a día recibe, y cuya grata experiencia en su visita es la mayor satisfacción de la administración del Centro Comercial.

## **CAPITULO II - OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo General**

- ✓ Evaluar técnicamente la planta de agua helada del centro comercial Larcomar y seleccionar las bombas para el sistema de tuberías de agua de condensado.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- ✓ Seleccionar el tipo de bombas más adecuado entre los disponibles y de acorde a la necesidad del sistema de condensación de la nueva planta de agua helada.
- ✓ Reducir costos de operación y mantenimiento, con el fin de maximizar la eficiencia del funcionamiento de la nueva planta de agua helada.
- ✓ Conocer los distintos sistemas y equipos existentes en los que pueden basarse las instalaciones de acondicionamiento de aire, analizando sus características que debe considerar un ingeniero para efectuar el diseño de una instalación concreta.
- ✓ Comprender el concepto de bomba para un mejor manejo en su expresión, el análisis de la clasificación general de las bombas atendiendo a sus aplicaciones, además de analizar el funcionamiento básico de la bomba.
- ✓ Calcular las principales pérdidas por el sistema hidráulico de tuberías de agua de condensado.

## **CAPITULO III - FUNDAMENTO TEORICO**

### **3.1 INTRODUCCION GENERAL**

Dentro de los sistemas de climatización, las enfriadoras de agua (chillers o sistemas todo agua como también se les conoce), son de los más empleados. Su principio de funcionamiento se basa en el bombeo de agua helada hacia los locales que se desea climatizar, en los que por medio de unidades terminales (por ejemplo, fan-coil) se logra intercambiar calor entre el aire de los locales y el agua helada. Una vez realizado el intercambio de energía, el agua retorna hacia las unidades enfriadoras siendo nuevamente enfriada y reenviada hacia los locales a climatizar. Existen diversas configuraciones de unidades enfriadoras de agua y cada opción será la más adecuada, dependiendo de diversos factores como las características del local a climatizar, la disponibilidad y costo del agua, así como las tarifas de energía eléctrica en el lugar de la aplicación. Cuando se realiza la selección del equipo de refrigeración puede considerarse que los equipos enfriados por agua son más eficientes que los enfriados por aire (12), debido a que las temperaturas alcanzadas para la condensación del refrigerante, son menores con agua que con aire. A pesar de lo anterior, no hay que olvidar que si analizamos globalmente la situación, en la opción de condensación por agua, habría que involucrar los costos de agua, del tratamiento de la misma y del consumo eléctrico de las bombas de agua de condensación y de los ventiladores de las torres de enfriamiento.

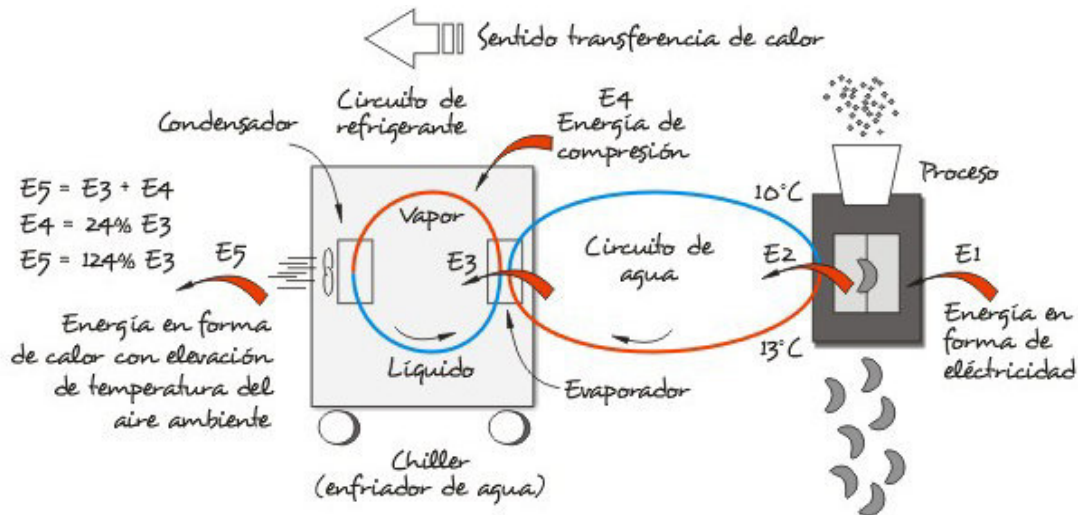
### **3.2 PLANTA DE AGUA HELADA CON CHILLER**

#### **3.2.1 El Chiller**

Un Chiller (o enfriador de agua) es un aparato industrial que produce agua fría para el enfriamiento de procesos industriales. La idea consiste en extraer el calor generado en un proceso por contacto con agua a una temperatura menor a la que el proceso finalmente debe quedar. Así, el proceso cede calor bajando su temperatura y el agua, durante el paso por el proceso, la eleva. El agua ahora "caliente" retorna al chiller adonde nuevamente se reduce su temperatura para ser enviada nuevamente al proceso.

Un chiller es un sistema completo de refrigeración que incluye un compresor, un condensador, evaporador, válvula de expansión (evaporación), refrigerante y tuberías,

además de bomba de impulsión de agua a/desde el proceso, sistema electrónico de control del sistema, depósito de agua, gabinete (ver figura 3.2). Distintos procesos requieren alimentarse con distintos caudales, presiones y temperaturas de agua. El agua se puede enfriar a temperaturas finales que alcanzan los 20°C o inclusive temperaturas negativas con la adición de anticongelantes, como por ejemplo -20°C



(20°C bajo cero).

Figura 3.2: Composición de un Chiller.

Fuente: Como funciona un Chiller, Wilmer Guerra - 2003.

### 3.2.1.1 Como funciona un CHILLER

El chiller básicamente opera como lo indica el ciclo de Carnot: un fluido refrigerante (usualmente conocido a través de la marca comercial Freón) en estado líquido, se fuerza a experimentar su evaporación debido a una baja de presión en el sector conocido como evaporador adonde además y fundamentalmente, toma calor del agua con la que indirectamente se pone en contacto. Es exactamente en ese lugar adonde se produce el enfriamiento propiamente dicho del agua. Ahora el agua sigue camino al proceso por su circuito y el refrigerante en estado de vapor (mal denominado gas) es comprimido por un compresor frigorífico obligándolo a recorrer el circuito de refrigeración. Seguidamente el refrigerante, en estado de vapor, ingresa al condensador adonde se convierte al estado líquido liberando el calor que sustrajo en el evaporador. Para esto, en el caso de los chiller condensados por aire, el calor sale del refrigerante para pasar al aire ambiente por acción de unos ventiladores que

fuerzan al aire a intercambiar con el refrigerante. En resumen, en el evaporador, el agua se enfría (baja su temperatura) mientras que el refrigerante se calienta (se evapora sin cambio de temperatura) en la exacta misma medida. Después, en el condensador, el refrigerante vuelve al estado líquido cediéndole calor al aire ambiente (que eleva su temperatura). Esta liberación de calor, al efectuarse en un lugar distinto al original (enfriamiento del agua), consigue un efecto neto de "movimiento de calor" del proceso al ambiente.

### 3.2.1.2 Rendimiento

Existen 2 mediciones de rendimiento de un chiller:

- a) El relacionado con el hecho físico de transferencia de calor y que solo depende de la naturaleza de forma que fijada una temperatura de condensación (la que el refrigerante en estado de vapor se transforma en líquido y que está dada por la temperatura del aire ambiente), resulta necesario aumentar la potencia de compresión para obtener temperaturas más bajas en el agua, o dicho de otra manera y en virtud de que un chiller tiene un compresor cuya potencia no es prácticamente modificable, a medida que es necesario menores temperaturas de agua, menor será la capacidad de transferencia de la unidad. Este valor es calculable en forma teórica (ver figura 3.3), es el máximo transferible y sirve como referencia. No obstante, el diagrama que sigue incluye las ineficiencias propias de los compresores de mejor rendimiento.

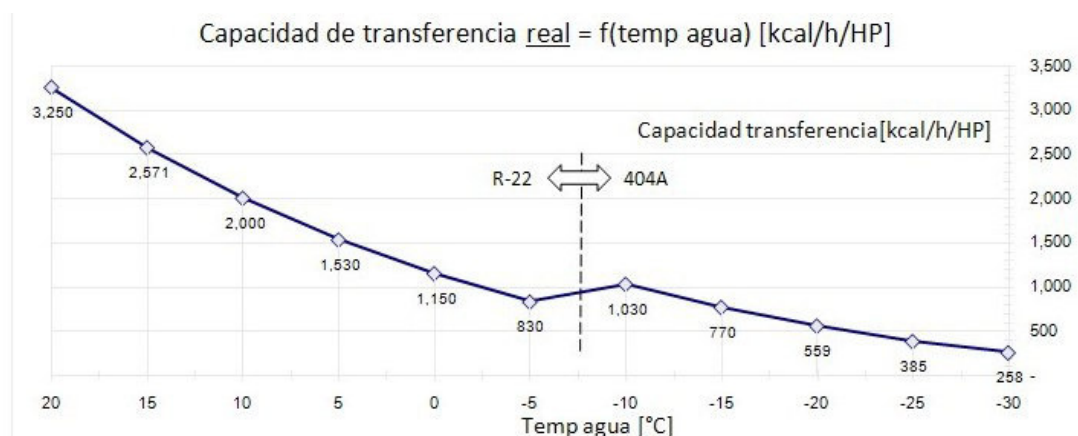


Figura 3.3: Gráfica de capacidad de tranferencia en función de la temperatura.

Fuente: Como funciona un Chiller, Wilmer Guerra - 2003.

b) El relacionado con la "calidad" o de la construcción o su tecnología, que es Independientemente de a). En este sentido se ha definido el COP o Coeficiente of Performance como el cociente de la energía que el chiller puede transferir vs la energía que recibe el compresor para poder conseguir el objetivo. Es usual encontrar valores entre 3.5 a 4.

### **3.2.1.3 Chiller como climatizador**

El chiller como las unidades de expansión directa se colocan en el exterior del edificio, en el interior del edificio se colocará las unidades termo-ventiladas denominadas FAN- COIL que son similares a las unidades interiores de un sistema de expansión directa.

Las únicas conexiones entre la unidad interna y la unidad externa es un circuito hidráulico común cerrando un circuito.

El líquido tratado en la unidad exterior enfriado o calentado y circulará impulsada por la bomba incluida en el sistema hidráulico, por todas las unidades FAN-COIL.

Finalmente el FAN-COIL utiliza el agua que circula por él, enviando el resultante del intercambio térmico (Aire frío o aire caliente), mediante un ventilador al ambiente según las demandas de confort del usuario.

**Atención:** Igual que un sistema de expansión directa convencional se debe tener en cuenta que produce condensados debido al diferencial de temperatura. El Chiller como unidad más versátil que una unidad de climatización convencional:

✓ Versatilidad en el número de unidades internas: En un climatizador de expansión directa convencional la unidad exterior debe ser conectada con la unidad interior para la que ha sido diseñada, en cambio el Chiller puede ser conectado con un número indefinido de unidades internas (FAN-COIL), siempre y cuando recordando que la potencia total de todas las unidades multiplicadas por un factor constante no sea superior a la potencia total de la unidad externa. Dicho factor determina cuantas unidades FAN-COIL puedes funcionar simultáneamente a la condición más extrema sin bajar la eficiencia de la instalación.

✓ Versatilidad en el tipo de unidades internas: En un climatizador de expansión directa la interconexión eléctrica entre la unidad interior y exterior es imprescindible.

Cada unidad externa corresponde a una unidad interna en los sistemas de una unidad interior y una exterior. En los sistemas 2x1, 3x1, 4x1... ocurre lo mismo. Con un sistema Chiller se puede conectar muchas unidades internas de diverso tipo, unidades Suelo-techo, Cassette, Conductos, Murales.

#### **3.2.1.4 Fase de funcionamiento del Chiller**

Entre la unidad interior y exterior no existe conexión frigorífica solo hidráulica y tampoco una interconexión eléctrica entre las dos unidades.

El Chiller interiormente funciona como una unidad de expansión directa, pero el refrigerante enfriado o calentado en los dos ciclos frigoríficos se hace circular por un intercambiador por el cual circula paralelamente por otro tubo y en sentido inverso o, en el mismo sentido dependiendo de las necesidades agua. Por el fenómeno que todos conocemos, se realizará un intercambio de energía del cuerpo más caliente al más frío.

#### **3.2.1.5 Funcionamiento de un refrigerador de líquido Chiller para el acondicionamiento de ambientes**

Tradicionalmente el climatizador de expansión directa es un sistema aire-aire, porque la unidad exterior (Condensadora) aprovecha la circulación de aire para condensar el gas caliente, y el aire también es aprovechado por la unidad interna (Evaporador) para el cambio de estado (Ambos en función frío). El principio de funcionamiento de una unidad Chiller viene a ser parecido al del aire-aire, pero utiliza también el agua para el cambio de estado se podría definir como una unidad agua-aire.

El agua se hace circular de manera forzada sobre un intercambiador de temperatura en el cual se realiza el cambio de estado utilizando el factor agua y no el factor aire para este.

El agua que sale del intercambiador circula por el circuito hidráulico a cada uno de los FAN-COIL a una cierta temperatura modificando así la temperatura ambiente a la cual afecta dicho FAN-COIL, y vuelve al intercambiador para rectificar su temperatura de



nuevo. Produciéndose un nuevo intercambio de temperatura entre el agua y el refrigerante para ser de nuevo distribuido por todas las unidades FAN- COIL.

Un Chiller es como un climatizador convencional de expansión directa pero:

- Condensador y evaporador están juntos en la misma máquina.
- El evaporador no enfría el agua del ambiente sino que enfría el agua que proviene de circular por las unidades internas FAN-COIL para climatizar el ambiente.

### **3.2.1.6 Características constructivas**

Los CHILLERS se presentan en diferentes tamaños y formas, dependiendo del fabricante, con capacidades que van de una a varias Toneladas de Refrigeración (TR). Se emplean diferentes tipos de compresores de refrigeración como pueden ser del tipo semi-hermético, hermético o de tornillo. Los evaporadores suelen ser del tipo casco y tubo aunque pueden ser también de placas, todo dependerá de la aplicación. Los condensadores de los CHILLERS suelen ser enfriados por aire aunque puede haber enfriados por agua.

Los enfriadores de líquido son sistemas de refrigeración mecánica; su funcionamiento se basa en el movimiento de calor, por medio de un refrigerante, el cual se absorbe del líquido a enfriar y se transporta hacia un medio donde se disipa. De esta manera podemos tener un líquido a una temperatura muy por debajo de las condiciones ambientales.

Para lograr este objetivo un enfriador de líquido está constituido por cuatro componentes principales además, accesorios e instrumentos de control y seguridad.

Todos los Chillers en su construcción presentan los siguientes componentes básicos (ver figura 3.3):

- ✓ El compresor
- ✓ El evaporador
- ✓ El condensador

✓ La válvula termostática

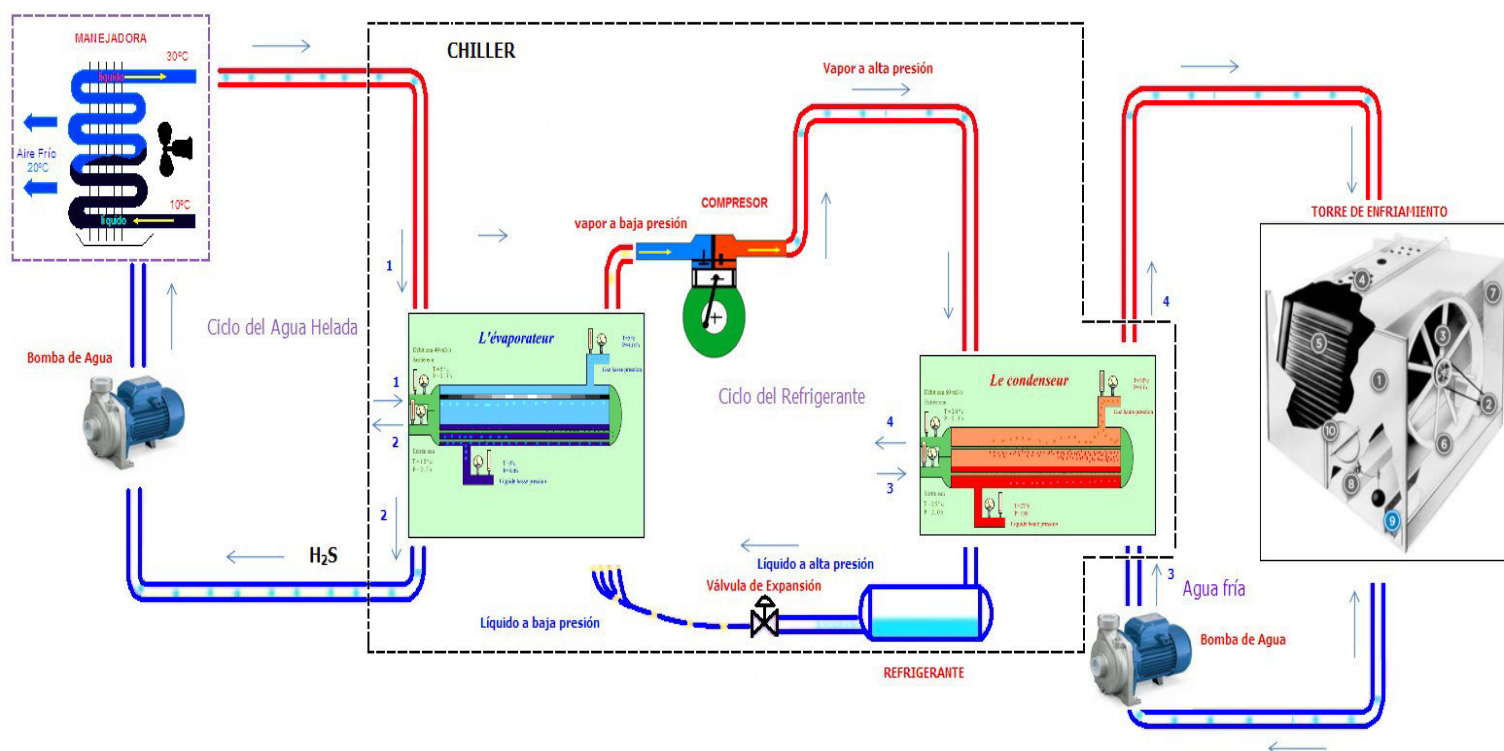


Figura 3.4: Componentes principales y diagrama de flujo Ciclo de refrigeración del Chiller

Fuente: <http://www.aireyork.net/que-es-un-chiller>.

#### a) El compresor

El compresor es el corazón del sistema, ya que es el encargado de hacer circular al refrigerante a través de los diferentes componentes del sistema de refrigeración del “chiller”. Succiona el gas refrigerante sobrecalentado a baja presión y temperatura, lo comprime aumentando la presión y la temperatura a un punto tal que se puede condensar por medios condensantes normales (Aire o agua). A través de las líneas de descarga de gas caliente, fluye el gas refrigerante a alta presión y temperatura hacia la entrada del condensador.

#### b) El evaporador

El Evaporador que es un intercambiador de calor del tipo casco y tubo su función es proporcionar una superficie para transferir calor del líquido a enfriar al refrigerante en condiciones de saturación. Mediante la línea de succión fluye el gas refrigerante como vapor a baja presión proveniente del evaporador a la succión

del compresor es el componente del sistema de refrigeración donde se efectúa el cambio de fase del refrigerante. Es aquí donde el calor del agua es transferido al refrigerante, el cual se evapora al tiempo de ir absorbiendo el calor.

**c) El condensador**

El condensador es el componente del sistema que extrae el calor del refrigerante y lo transfiere al aire o al agua. Esta pérdida de calor provoca que el refrigerante se condense. Su función es proporcionar una superficie de transferencia de calor, a través de la cual pasa el calor del gas refrigerante caliente al medio condensante. Mediante la línea de líquido fluye el refrigerante en estado líquido a alta presión a la válvula termostática de expansión.

**d) La válvula termostática**

La válvula termostática de expansión su finalidad es controlar el suministro apropiado del líquido refrigerante al evaporado, así como reducir la presión del refrigerante de manera que vaporice en el evaporador a la temperatura deseada.

**e) Dispositivos y controles**

Para que un enfriador de líquido trabaje en forma automática, es necesario instalarle ciertos dispositivos eléctricos, como son los controles de ciclo. Los controles que se usan en un enfriador son de acción para temperatura, llamados termostatos, de acción por presión llamados presostatos y de protección de falla eléctrica llamados relevadores.

Los principales dispositivos y controles de un “chiller” son:

- Termostatos.
- Presostato de baja presión.
- Presostato de alta presión.
- Calefactor de cárter.
- Filtro deshidratador de succión.
- Filtro deshidratador de líquido.
- Indicador de líquido o cristal mirilla.

- Circuito de control.
  - Gabinete.
  - Refrigerante.
- **Los termostatos**, son dispositivos que actúan para conectar o interrumpir un circuito en respuesta a un cambio de temperatura, instalados en esta unidad, cierran un circuito (Conectan) con un aumento de temperatura y lo interrumpirían (Desconectarán) con un descenso de temperatura. Un segundo tipo de control que se instala en la unidad son los presostatos (Baja presión, cuando se requiera y alta presión).
  - **El presostato de baja presión** se conecta en la succión del compresor y éste opera (Abre el circuito) cuando existe una baja presión en el sistema, ya sea por una baja de temperatura en el fluido –Actúa como control de seguridad-, por falta de refrigerante o por alguna obstrucción en la línea de líquido o de succión.
  - **El presostato de alta presión** actúa (Abre el circuito) como un dispositivo de seguridad al incrementar la presión a un nivel arriba de lo normal, este dispositivo es de restablecimiento manual, el disparo de alta presión puede ocasionarse por obstrucción en el condensador, altas temperaturas en el área de enfriamiento, mal funcionamiento de los abanicos, desajuste en la válvula de expansión, obstrucción en la línea de líquido, etc.
  - **El calefactor de cárter** tiene por objeto calentar el aceite del compresor para que al iniciar la operación éste tenga las condiciones correctas de viscosidad, al parar el compresor el calefactor se energiza, evaporando cualquier vestigio de refrigerante líquido en el cárter, al arrancar la unidad se desenergiza automáticamente.
  - **El Filtro deshidratador de Succión** se encuentra instalado en la línea de succión y tiene por objeto absorber cualquier humedad que contenga el refrigerante, así como detener cualquier partícula extraña que viaje al compresor.

- ***El Filtro deshidratador de Líquido*** se encuentra instalado en la línea de líquido y tiene por objeto absorber cualquier humedad que contenga el refrigerante, así como detener cualquier partícula extraña que viaje al compresor.
- ***El Indicador de líquido o cristal mirilla*** instalada también en la línea de líquido, permite verificar visualmente que el sistema tenga su carga completa de refrigerante, así como verificar que el refrigerante se mantenga seco.
- ***El circuito de control*** se encarga de controlar los paros y arranques de los motores del “chiller”, así como de las señales de alarma. Las líneas y accesorios de refrigeración conducen el refrigerante de un componente a otro del sistema de refrigeración, regulando, filtrando y controlando el paso del refrigerante.
- ***El Gabinete*** encierra y protege los componentes de control y es el soporte de todos los componentes del equipo.
- ***El refrigerante*** extrae el calor del medio a enfriar y lo disipa en un medio enfriante como agua o aire.

### 3.2.1.7 Principio de operación:

El objetivo es extraer el calor sensible del agua o salmuera, empleando un medio refrigerante; en la actualidad los medios refrigerantes más comunes son los CFC Y HCFC, por lo que la operación se basa en las curvas de operación de los mismos.

De una manera sencilla el principio es el siguiente (ver figura 3.5):

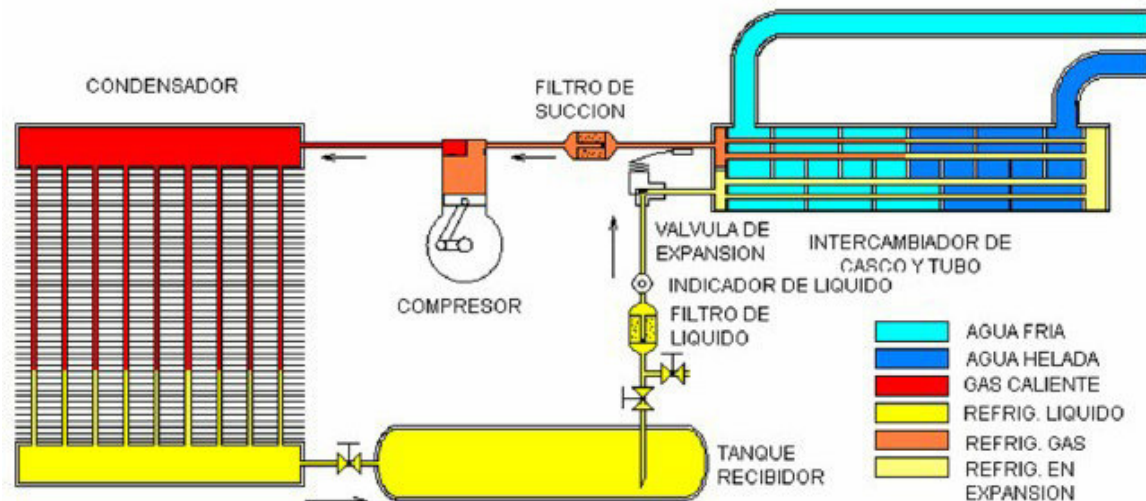


Figura 3.5: Principio de operación de un chiller.

Fuente: <http://www.aireyork.net/que-es-un-chiller>.

El agua que se quiere enfriar se hace circular a través de un intercambiador del tipo casco y tubo (principalmente por el casco). Este flujo de agua transmitirá su calor al flujo del refrigerante, ya que estos se encuentran separados por la pared del tubo. El refrigerante al recibir el calor se evapora debido a sus características y a la baja presión de evaporación. El gas refrigerante es extraído por el compresor, el cual lo envía comprimido hacia el condensador. Durante este proceso el refrigerante se calienta por el efecto de la compresión y del calor del motor del compresor en sistemas con compresor hermético y semihermético. El gas caliente del compresor entra al condensador en donde su calor es transmitido a un medio refrigerante que bien puede ser agua o aire principalmente. El calor extraído provoca que el refrigerante se condense a alta presión.

El refrigerante en estado líquido a alta presión puede ser almacenado o enviado directamente a la válvula de expansión para su inyección en el evaporador y así reiniciar el ciclo.

✓ ***Selección de Equipos y Sistemas de Enfriamiento para la Industria***

En la actualidad existen muchas industrias que requieren del empleo de equipos y sistemas de enfriamiento para sus líneas de proceso y sistemas auxiliares. Para el industrial de hoy el mercado ofrece una gran variedad de equipos y sistemas de enfriamiento que varían grandemente de acuerdo al rango de temperaturas requeridas, así como el grado de exactitud.

✓ ***Pero ¿cuál es el equipo o sistema a elegir?***

Los criterios fundamentales para la elección del mejor sistema son los siguientes:

- Máxima y mínima temperatura de operación.
- Temperaturas de Bulbo Seco y Bulbo Húmedo.
- Costos iniciales de inversión.
- Costos de operación.
- Costos de mantenimiento.
- Simplicidad de operación.
- Precisión.
- Espacio disponible.
- Voltaje disponible.
- Capacidad de cargas eléctricas disponibles.
- Disponibilidad de agua.
- Calidad del agua.
- Ahorro de energía.

Un buen análisis de los requerimientos de enfriamiento así como una correcta elección de los sistemas centrales de enfriamiento y superficies de transferencia de calor pueden arrojar resultados asombrosos en ahorro de energía, simplicidad de operación, reducción de gastos innecesarios de mantenimiento, contratación de personal externo, etc.

Un método sencillo para la selección de equipos y sistemas de enfriamiento consta de los siguientes pasos:

- Requerimientos.
- Análisis termodinámico.
- Selección del medio enfriante para los equipos de refrigeración.
- Selección del sistema de enfriamiento.

- Selección de los equipos del sistema de enfriamiento.

### **3.2.1.7 Fundamentos teóricos de aire acondicionado**

Es posible calcular en determinadas condiciones, valores promedio de las propiedades psicométricas del aire en las que el ser humano goza al máximo bienestar, las cuales son:

- 1.- La temperatura del aire
- 2.- La humedad del aire.
- 3.- El movimiento del aire.
- 4.- La pureza del aire.

El acondicionamiento del aire como proceso consiste en tratar de modo que queden reguladas simultáneamente su temperatura, su humedad, su pureza y su distribución, a fin de que cumplan las condiciones exigidas por el espacio acondicionado en cualquier época del año.

Obtener una carga de enfriamiento es por lo general, más costoso que una de calentamiento. El tamaño de la unidad necesaria se determina con exactitud calculando la ganancia o pérdida de calor del área que se ha de acondicionar.

El aire acondicionado comprende calefacción, refrigeración, humidificación, deshumidificación, ventilación, limpieza de impurezas y circulación del aire.

La composición volumétrica del aire puro se establece dentro de los siguientes parámetros:

- ✓ Oxígeno..... 20,99%
- ✓ Anhídrido Carbónico..... 0,44%
- ✓ Nitrógeno..... 78,03%
- ✓ Vapor de Agua..... variable
- ✓ Otros Gases..... 0,04%

Impurezas: humos de sulfuros, ácidos, polvos, cenizas, minerales, microorganismos, etc.

La cantidad de vapor de agua en el aire varía de lugar y de acuerdo a las condiciones atmosféricas locales, siendo normalmente de 1% a 3% de la masa de la mezcla.



- **El calor**, es una forma de energía, transferida en virtud de una diferencia de temperatura. El calor existe en todos los cuerpos, en cualquier parte, en mayor o menor grado. Como cualquier forma de energía no puede ser creada ni destruida, aunque otra forma de energía pueda convertirse en calor y viceversa. Cuanto más se calienta un material cualquiera, tanto más rápido es el movimiento de las moléculas de las que toda sustancia o materia está compuesta. Si se aplica suficiente cantidad de calor, el líquido hervirá y se convertirá en vapor. De manera natural, el calor viaja en una sola dirección de un objeto o área más caliente a una más fría.
- **El frío**, es simplemente la ausencia de calor, o, más bien, una ausencia parcial del mismo, porque, aunque extraigamos la mayor parte del calor que contiene un cuerpo o un espacio, no es posible quitarle por ninguno de los medios conocidos el calor natural. La temperatura cero, en la escala centígrada, es la de congelación del agua, y la temperatura cero de la escala Fahrenheit es un punto que está a 32 °F. Sin embargo, el cero absoluto teórico está a -273 °C, o aproximadamente 460°F por debajo de los ceros de las escalas correspondiente. Esta es la temperatura a la cual ya no existirá ningún movimiento de las moléculas de cualquier cuerpo o materia.
- **Medición de calor**, la unidad de calor es la caloría o kilocaloría, que es la cantidad de calor necesario para elevar un grado centígrado la temperatura de un kilogramo de agua, y los países que utilizan el Sistema Inglés emplean la British Thermal Unit, o sea, la BTU., que es la cantidad de calor necesario para elevar un grado Fahrenheit la temperatura de una libra masa de agua.
- **Calor sensible**, es el calor que podemos sentir o medir con algún instrumento. Es el calor que causa un cambio en la temperatura de la sustancia, pero no un cambio en el estado. Por ejemplo, si se calienta agua sobre una llama, podemos sentir la elevación de la temperatura sumergiendo un dedo en el agua. Cuando la temperatura de un líquido o de una sustancia cualquiera se eleva, está absorbiendo calor sensible y, por el contrario, cuando baja la temperatura de una sustancia, está desprendiendo calor sensible.

- **Calor latente**, el termino calor latente se refiere a la cantidad de calor necesaria para cambiar el estado físico de una sustancia sin variar su temperatura, de solido a líquido o de líquido a vapor. La palabra latente significa “oculto”, no es percibido por los sentidos.

Para hacer que una sustancia sufra un cambio físico, y pase del estado sólido al líquido, o del estado líquido al de vapor, hay que añadirle una cantidad considerable de calor. Este calor latente es almacenado en la sustancia y lo devuelve de nuevo cuando la sustancia retorna a su estado inicial cuando se enfría.

- **Calor latente de fusión**, bajo un cambio de estado, la mayoría de las sustancia tendrá un punto de fusión en el cual cambiaran de un sólido a un líquido sin ningún incremento en la temperatura. En este punto, si la sustancia está en un estado líquido y el calor se retira de ella, la sustancia se solidificara sin un cambio en su temperatura. El calor envuelto en uno u otro de estos (cambio de un sólido a un líquido, de un líquido a un sólido), sin un cambio en temperatura se conoce como el calor latente de fusión.
- **Calor latente de evaporación**, para cambiar una sustancia de líquido a vapor y de vapor a líquido se requiere calor latente de evaporación. Puesto que la ebullición es solo un proceso acelerado de evaporación, este calor también puede llamarse calor latente de ebullición, calor latente de evaporación, o para el proceso contrario, calor latente de condensación.

Cuando un kilogramo (una libra) de agua hierve, absorbe 539 kilocalorías (970 BTU) a una temperatura constante de 100 °C (212 °F) al nivel del mar, igualmente, para condensar un kilogramo (una libra) de vapor deben substraerse 539 kilocalorías (970 BTU).

Debido a la gran cantidad de calor latente que interviene en la evaporación y en la condensación, la cantidad de calor puede ser muy eficiente mediante el proceso. Los mismos cambios de estado que afectan el agua se aplican también a cualquier liquido aunque a diferentes presiones y temperaturas.

La absorción de calor para cambiar un líquido a vapor y la substracción de este calor para condensar nuevamente el vapor, es la clave para todo el proceso de la

refrigeración mecánica y la transmisión del calor latente requerido es el instrumento básico de la refrigeración.

- **Calor total**, es la suma del calor latente y el calor sensible.
- **Temperatura**, Cuanto más se concentre sobre un punto de un cuerpo una cantidad de energía calorífica dada, tanto más elevada será la temperatura de dicho punto. La temperatura se mide en grados.
- **Temperatura de saturación**, la temperatura a la cual cambia un líquido a vapor, se llama temperatura de saturación. Algunas veces se le llama también “punto de ebullición”. Un líquido cuya temperatura ha sido elevada a la temperatura de saturación, se llama líquido saturado.
- **Temperatura de rocío**, es la temperatura debajo de la cual el vapor de agua en el aire, comienza a condensarse. También es el punto de 100% de humedad. La humedad relativa de una muestra de aire, puede determinarse por su punto de rocío. Existen varios métodos para determinar la temperatura del punto de rocío.

Esta es la temperatura a la cual se condensará la humedad sobre una superficie. La escala para las temperaturas de punto de rocío es idéntica que la escala para las temperaturas de bulbo húmedo; es decir, es la misma escala para ambas propiedades. Sin embargo, las líneas de la temperatura de punto de rocío, corren horizontalmente de izquierda a derecha.

Cualquier punto sobre una línea de punto de rocío constante, corresponde a la temperatura de punto de rocío sobre la escala, en la línea curva de la carta (ver figura 3.6).

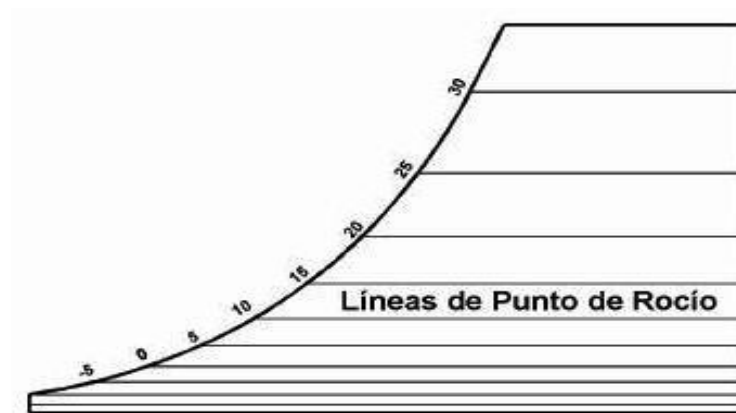


Figura 3.6: Líneas de temperatura de punto de rocío °C.

Fuente: *Manual del Aire Acondicionado, Carrier – Ed. Marcombo.*

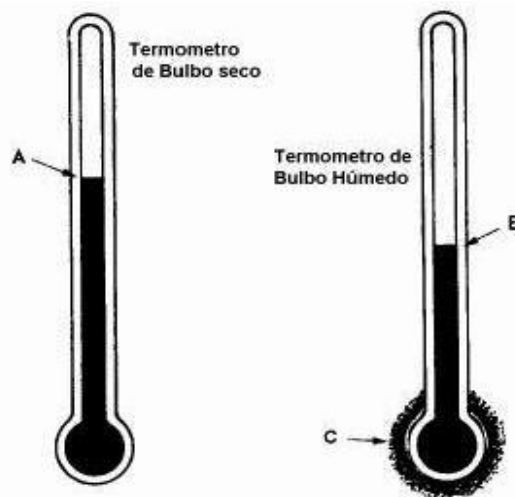
- **Temperatura de bulbo húmedo (TBH)**, temperatura de bulbo húmedo del aire es la temperatura medida por un termómetro cuyo bulbo se encuentra encerrado en una mecha o saco de tela humedad.

Básicamente, un termómetro de bulbo húmedo no es diferente de un termómetro ordinario, excepto que tiene una pequeña mecha o pedazo de tela alrededor del bulbo. Si esta mecha se humedece con agua limpia, la evaporación de esta agua disminuirá la lectura (temperatura) del termómetro. Esta temperatura se conoce como de «bulbo húmedo» (bh). Si el aire estuviese saturado con humedad (100% hr), la lectura de la temperatura en el termómetro de bulbo húmedo, sería la misma que la del termómetro de bulbo seco. Sin embargo, la hr normalmente es menor de 100% y el aire está parcialmente seco, por lo que algo de la humedad de la mecha se evapora hacia el aire. Esta evaporación de la humedad de la mecha, provoca que la mecha y el bulbo del termómetro se enfríen, provocando una temperatura más baja que la del bulbo seco. Mientras más seco esté el aire, más rápida será la evaporación de la humedad de la mecha. Así que, la lectura de la temperatura del bulbo húmedo, varía de acuerdo a qué tan seco esté el aire. La precisión de la lectura del bulbo húmedo, depende de qué tan rápido pase el aire sobre el bulbo. Las velocidades hasta de 1,500 m/min (90 km/hr), son mejores pero peligrosas, si el termómetro se mueve a esta velocidad. También, el bulbo húmedo deberá protegerse de superficies que radien calor (sol, radiadores, calentadores eléctricos, calderas, etc.). Se pueden tener errores hasta del 15% si el movimiento de aire es muy lento, o si hay mucha radiación presente. Cuando la hr es de 100% (saturación), las temperaturas de bulbo seco, bulbo húmedo y del punto de rocío son todas la misma. Abajo de 100% de hr, la temperatura del bulbo húmedo es siempre algo menor que la del bulbo seco y mayor que el punto de rocío.

En la figura 3.7, se ilustran los termómetros de bulbo seco y bulbo húmedo. "A" representa la temperatura de bulbo seco, "B" la temperatura de bulbo húmedo y "C" la mecha que envuelve al bulbo húmedo. Nótese que la temperatura mostrada en el termómetro de bulbo húmedo, es considerablemente menor que la del termómetro de bulbo seco.

También, la temperatura de bulbo húmedo varía de acuerdo a la temperatura del cuarto; así que, es afectada tanto por el calor sensible del aire en el cuarto, como por el calor latente de la humedad del aire.

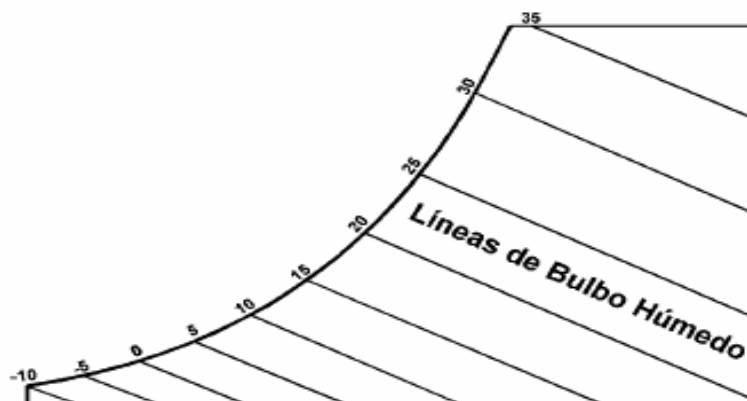
Por lo tanto, la temperatura de bulbo húmedo, es una indicación del calor total en el aire y la humedad.



*Figura 3.7: Termómetros de bulbo seco y bulbo húmedo.*

*Fuente: Manual del Aire Acondicionado, Carrier – Ed. Marcombo.*

En la carta psicrométrica las líneas de temperatura de bulbo húmedo constantes o líneas de bulbo húmedo (figura 3.8), corren diagonalmente de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, en un ángulo de aproximadamente  $30^\circ$  de la horizontal. También se les dice constantes, porque todos los puntos a lo largo de una de estas líneas, están a la misma temperatura de bulbo húmedo.



*Figura 3.8: Líneas de temperatura de bulbo húmedo °C.*

*Fuente: Manual del Aire Acondicionado, Carrier – Ed. Marcombo.*

## • Psicrómetro

Para asegurarse que la temperatura del bulbo húmedo registrada sea precisa, el flujo de aire sobre el bulbo húmedo debe ser bastante rápido. El dispositivo diseñado para girar un par de termómetros, uno de bulbo seco y otro de bulbo húmedo, se conoce como psicrómetro de onda. El instrumento consiste de dos termómetros, el de bulbo seco y el de bulbo húmedo. Para operarlo, la mecha se satura sobre el bulbo húmedo con agua limpia, o de preferencia, con agua destilada y se gira. Para tomar las lecturas con el psicrómetro de onda, se recomiendan los siguientes pasos:

1. Sumerja la mecha sobre el bulbo húmedo en el agua. Sólo una vez por cada determinación de la hr, pero nunca entre una lectura y otra. La evaporación progresiva de la humedad en la mecha, hasta que alcanza el equilibrio con la humedad en el aire, es el factor que determina la lectura de bulbo húmedo.
2. Gire el psicrómetro durante 30 segundos. Rápidamente tome las lecturas, primero en el termómetro de bulbo húmedo y luego en el de bulbo seco y anótelas. Gire de nuevo el psicrómetro, tomando lecturas a intervalos de 30 segundos durante cinco lecturas sucesivas, y anote las temperaturas en cada ocasión, o hasta que se haya obtenido la lectura más baja y que la última lectura revele una nivelación o curva de retorno. (Dos o más lecturas sucesivas casi idénticas).
3. Utilice las tablas o la carta psicrométrica (ver figura 3.9) para obtener la hr (humedad relativa). Normalmente, los psicrómetros de onda vienen acompañados de una regla deslizable con las dos escalas de temperaturas (bulbo húmedo y bulbo seco) y su hr correspondiente.

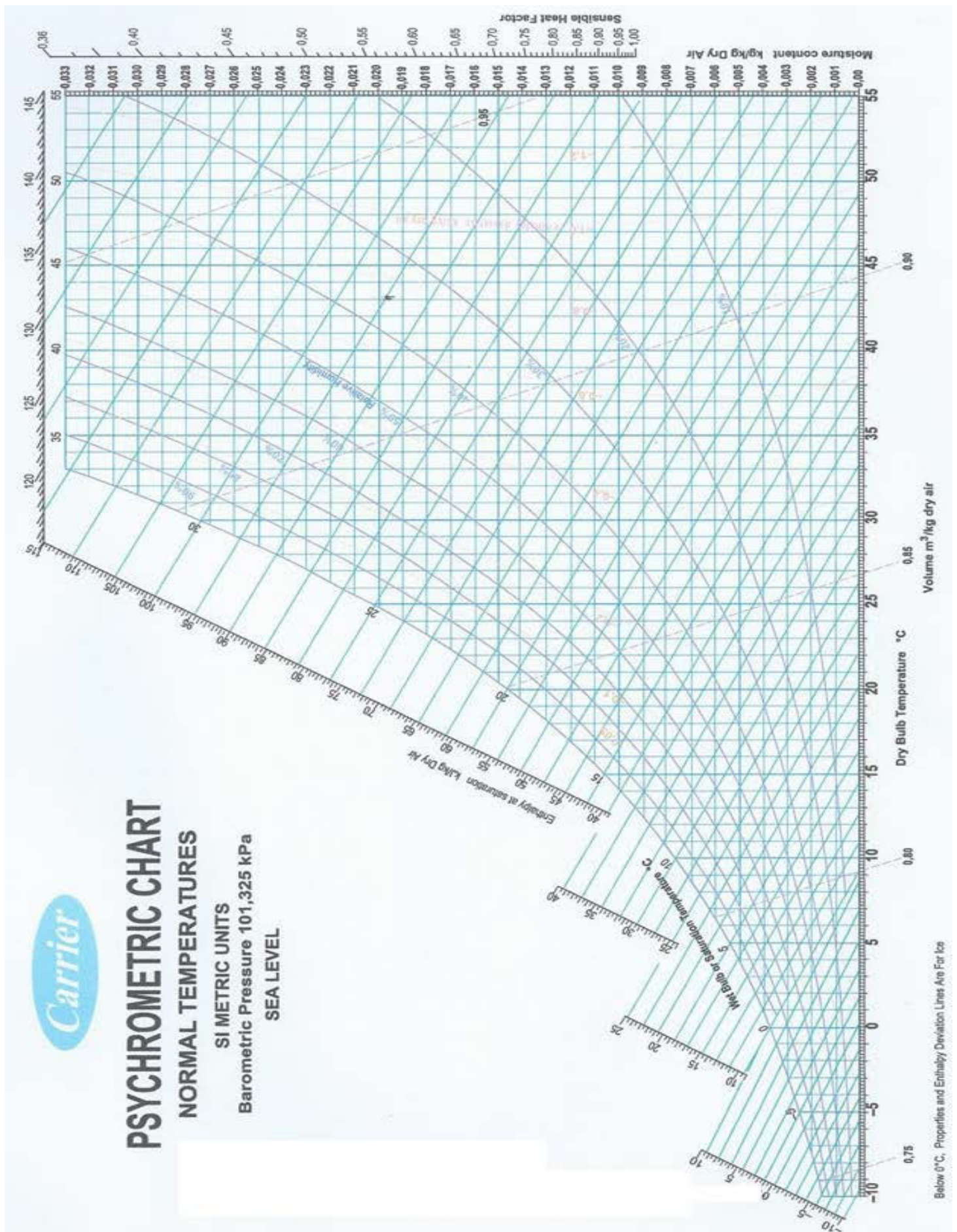


Figura 3.9: Carta psicométrica.

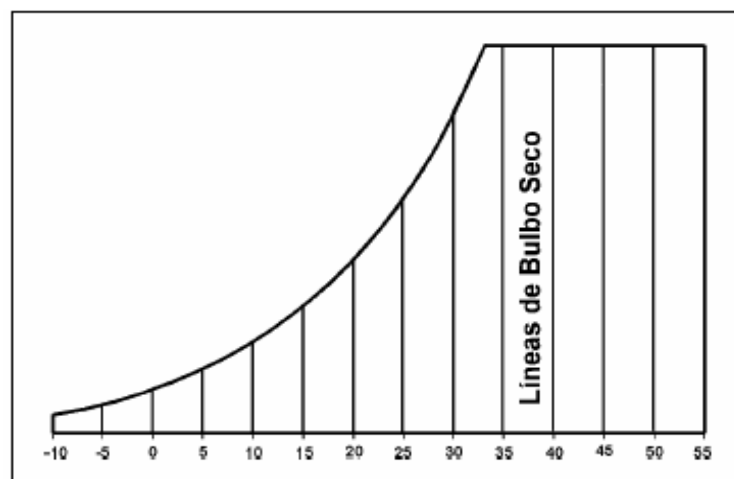
Fuente: Manual del Aire Acondicionado, Carrier – Ed. Marcombo.

- **Temperatura de bulbo seco (TBS)**, es la temperatura medida por un termómetro ordinario de bulbo seco y es la medida del calor sensible del aire en °C o °F.

El confort humano y la salud, dependen grandemente de la temperatura del aire. En el acondicionamiento de aire, la temperatura del aire indicada es normalmente la temperatura de «bulbo seco» (bs), tomada con el elemento sensor del termómetro en una condición seca. Es la temperatura medida por termómetros ordinarios en casa. Hasta este punto, todas las temperaturas a que nos hemos referido han sido temperaturas de bulbo seco, tal como se leen en un termómetro ordinario, excepto donde nos hemos referido específicamente a la temperatura del punto de rocío.

Esta escala es la horizontal (abcisa), en la parte baja de la carta, según se muestra.

Las líneas que se extienden verticalmente, desde la parte baja hasta la parte alta de la carta, se llaman líneas de temperatura de bulbo seco constantes, o simplemente «líneas de bulbo seco» (figura 3.10). Son constantes porque cualquier punto a lo largo de una de estas líneas, corresponde a la misma temperatura de bulbo seco indicada en la escala de la parte baja. Por ejemplo, en la línea de 40°C, cualquier punto a lo largo de la misma, corresponde a la temperatura de bulbo seco de 40°C.



*Figura 3.10: Líneas de temperatura de bulbo seco °C.*

*Fuente: Manual del Aire Acondicionado, Carrier – Ed. Marcombo.*

- **Humedad relativa (HR)**, la humedad relativa (hr), es un término utilizado para expresar la cantidad de humedad en una muestra dada de aire, en comparación con la cantidad de humedad que el aire tendría, estando totalmente saturado y a la



misma temperatura de la muestra. La humedad relativa se expresa en porcentaje, tal como 50%, 75%, 30%, etc.

De acuerdo a la ASHRAE, una definición más técnica de la hr, sería la relación de la fracción mol del vapor de agua presente en el aire, con la fracción mol del vapor de agua presente en el aire saturado, a la misma temperatura y presión.

En una carta psicrométrica completa, las líneas de humedad relativa constante, son las líneas curvas que se extienden hacia arriba y hacia la derecha (figura 3.11). Se expresan siempre en porcentaje, y este valor se indica sobre cada línea.

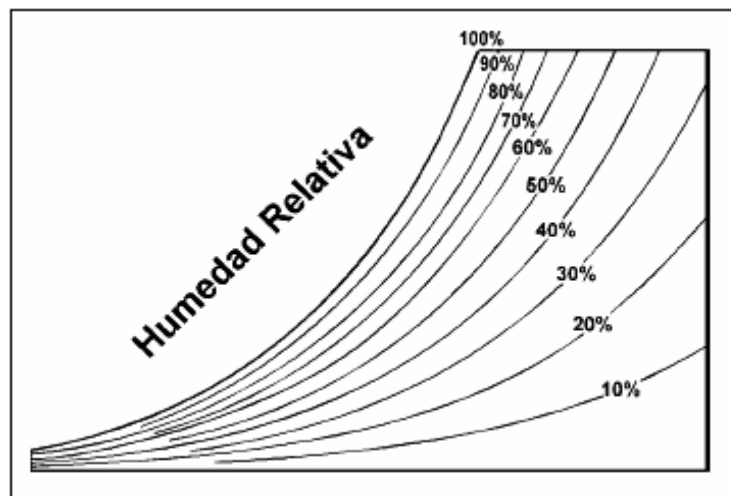


Figura 3.11: Líneas de humedad relativa %.

Fuente: Manual del Aire Acondicionado, Carrier – Ed. Marcombo.

- **Humedad absoluta o humedad específica (ha)**, la humedad absoluta, es el peso real de vapor de agua en el aire. También se le conoce como humedad específica. La escala de la humedad absoluta, es la escala vertical (ordenada) que se encuentra al lado derecho de la carta psicrométrica, como se indica en la figura 3.12. Los valores de esta propiedad se expresan, como ya sabemos, en gramos de humedad por kilogramo de aire seco (g/kg), en el sistema internacional, y en granos por libra (gr/lb), en el sistema inglés.

Las líneas de humedad absoluta, corren horizontalmente de derecha a izquierda, y son paralelas a las líneas de punto de rocío y coinciden con éstas.

Así pues, podemos ver que la cantidad de humedad en el aire, depende del punto de rocío del aire.

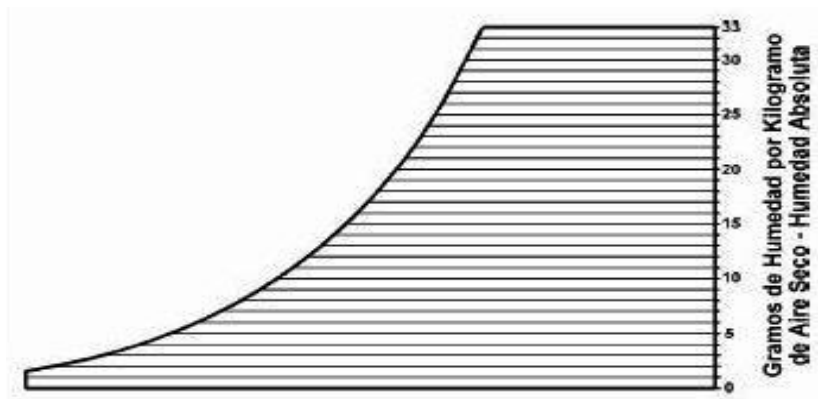


Figura 3.12: Líneas de humedad absoluta en gramos/kg.

Fuente: Manual del Aire Acondicionado, Carrier – Ed. Marcombo.

- **Entalpía (h)**, es la suma del trabajo del flujo más la energía interna. Es la cantidad de calor contenida en el aire. La entalpía del aire es igual a la suma de la entalpía del aire seco, más la entalpía del vapor de agua contenido en la mezcla, su punto de referencia es generalmente 0 °C (32 °F).

Las líneas de entalpía constantes en una carta psicrométrica, son las que se muestran en la figura 3.13. Debe notarse que estas líneas, son meramente extensiones de las líneas de bulbo húmedo; puesto que el calor total del aire, depende de la temperatura de bulbo húmedo. La escala del lado izquierdo lejano a la línea curva, da el calor total del aire en kJ/kg (kilojoules por kilogramo) de aire seco, en el sistema internacional o en btu/lb de aire seco, en el sistema inglés. Esta escala aumenta de -6 kJ/kg a la temperatura de -10°C de bulbo húmedo, hasta aproximadamente 115 kJ/kg a 33°C de bulbo húmedo.

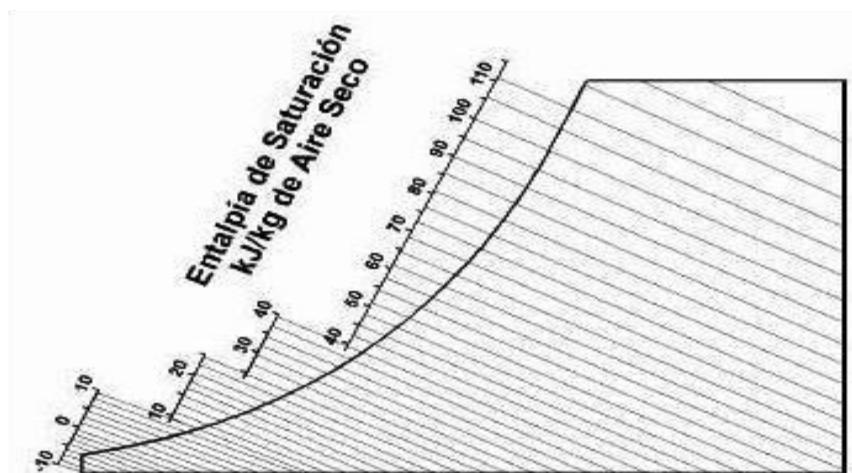


Figura 3.13: Líneas de entalpía en kJ/kg de aire seco.

Fuente: Manual del Aire Acondicionado, Carrier – Ed. Marcombo.

- **Volumen específico ( $v$ )**, es el volumen ocupado por la unidad de masa de una sustancia en condiciones específicas de presión y temperatura.

Las líneas del volumen específico constante en una carta psicométrica. Estas líneas están en un ángulo aproximado de  $60^\circ$  con la horizontal, y van aumentando de valor de izquierda a derecha. Por lo general, el espacio entre cada línea, representa un cambio de volumen específico de  $0.05 \text{ m}^3/\text{kg}$ . Cualquier punto que caiga entre dos de estas líneas, naturalmente debe ser un valor estimado (ver figura 3.14). Si se desea saber la densidad del aire a cualquier condición, como ya sabemos, se debe dividir uno entre el volumen específico, puesto que la densidad es la inversa del volumen específico y viceversa. Debido a que la mayoría de los cálculos en trabajos de aire acondicionado, se basan en el peso del aire en lugar del volumen de aire, se recomienda el uso del volumen específico ( $\text{m}^3/\text{kg}$  de aire) en vez de la densidad ( $\text{kg}/\text{m}^3$  de aire).

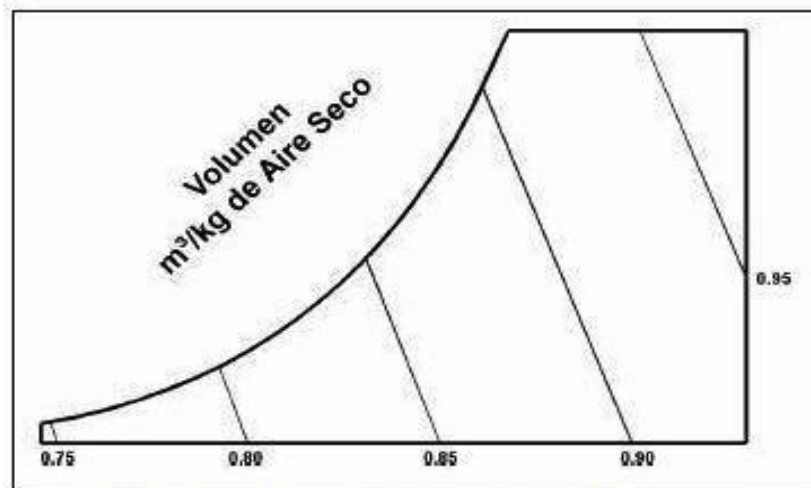


Figura 3.14: Líneas de volumen específico en  $\text{m}^3/\text{kg}$  de aire seco.

Fuente: *Manual del Aire Acondicionado, Carrier – Ed. Marcombo.*

- **Refrigeración**, es la técnica para la remoción de calor de un cuerpo o sustancia para llevarlo a una temperatura menor, por debajo de la temperatura del medio ambiente.
- **Refrigeración mecánica**, es la utilización de componentes mecánicos arreglados en un “sistema de refrigeración”, con el propósito de extraer calor.
- **Refrigerantes**, son compuestos químicos que nos permiten remover calor clasificados en directos, indirectos o primarios y secundarios.

- **Tonelada de refrigeración**, es un término del sistema ingles de unidades que se usa para definir y medir la producción de frio, la cual se define como la cantidad de calor suministrada para fundir una tonelada de hielo (2000 lb) en 24 horas, esto es basado en el concepto de calor latente de fusión (144 Btu/lb).  $2,000 \text{ lb.} \times 144 \text{ Btu/lb.} \times \text{día}/24 \text{ hrs.} = 1 \text{ T.R.}$

Esto equivaldría a una potencia capaz de extraer 12.000 BTU por hora, lo que en el Sistema Internacional de Unidades (SI) equivale a 3517 W (3,517 Kw).

- **Potencia**, es el trabajo realizado por unidad de tiempo.
- **Presión**, es el impacto de un gran número de moléculas sobre una superficie. Fuerza o empuje ejercido sobre una superficie.
- **Presión atmosférica**, la atmosfera alrededor de la Tierra, que está compuesta de gases como el oxígeno y nitrógeno, se extiende muchos kilómetros sobre la superficie. El peso de esta atmosfera sobre la Tierra crea la presión atmosférica. En un punto dado, la presión atmosférica es relativamente constante excepto por pequeños cambios debidos a las diferentes condiciones atmosféricas. Con el objeto de estandarizar y como referencia básica para su comparación, la presión atmosférica al nivel del mar ha sido universalmente aceptada y establecida a 1.03 kilogramos fuerza por centímetro cuadrado (14.7 libras por pulgada cuadrada), lo cual equivale a la presión causada por una columna de mercurio de 760 milímetros de alto (92.92 pulgadas). En lugares más altos del nivel del mar, la altitud de la capa atmosférica que existe sobre la Tierra es menor y por lo tanto la presión atmosférica disminuye.
- **Energía interna**, también se llama calor sensible. Absolutamente todos los cuerpos tienen energía o calor sensible. Su variación depende exclusivamente de la temperatura, para cada cuerpo se define una propiedad termodinámica que se denomina calor específico, y puede a presión constante o a volumen constante. Desde luego que también dependerá de la cantidad de materia (masa).

- **Ley Cero de la Termodinámica**, dos cuerpos que guardan equilibrio con un tercero mantienen un equilibrio térmico entre sí.
- **PRIMERA LEY DE LA TERMODINAMICA**, la primera ley de la termodinámica (la rama de la ciencia que trata con la acción del calor) establece que:

“La energía no se crea ni se destruye, solo se transforma”

La energía en si misma se define como la habilidad de producir un trabajo, y el calor es una forma de energía.

$$\Delta E = Q + W$$

Dónde:

$\Delta E$ : Variación de la energía interna del sistema.

$Q$ : Calor tomado por el sistema.

$W$ : Trabajo realizado sobre el sistema.

- **SEGUNDA LEY DE LA TERMODINAMICA Q**, es la cantidad de calor fluyendo después de considerar todos los factores que intervienen en un balance térmico ya descritos anteriormente.
- **Coeficiente global de transferencia de calor “U”**, es definido como la cantidad de calor transmitido a través de un material o miembro estructural compuesto de paredes paralelas. El factor U como se llama comúnmente, es el coeficiente de transferencia de calor que resulta de considerar los efectos de conductividad, conductancia, y coeficientes peculiares superficiales, y se expresa en términos de (BTU / h x pie<sup>2</sup> x OF) y se aplica a estructuras compuestas tales como paredes, techos, etc.
- **Conductividad térmica “k”**, la conductividad térmica “k” se define como la cantidad de transmisión de calor que pasa a través de un material por pulgada de espesor y está dada en unidades de: (Btu-pulg / h x pie<sup>2</sup> x oF).  
Donde los diferentes materiales ofrecen diferentes resistencias al flujo de calor.

- **Resistividad térmica “r”**, la resistividad se define como el recíproco de la conductividad térmica o  $1/k$ .
- **Conductancia térmica “C”**, la conductancia térmica “C” es similar a la conductividad térmica, excepto que es un factor total de transmisión de calor para un espesor de material dado, en cambio de conductividad térmica “k”, que es un factor por pulgada de espesor. La ecuación es similar:  $(\text{Btu} / \text{h} \times \text{pie}^2 \times \text{oF})$ .
- **Resistencia pelicular superficial “f”**, la transferencia de calor a través de un material es afectado por la resistencia superficial al flujo de calor, esta es determinada por el tipo de superficie, rugosa o lisa, su posición vertical u horizontal, sus propiedades reflejantes, la cantidad de flujo de aire sobre la superficie. Conductancia superficial pelicular usualmente denominada  $f_i$  la cantidad inferior y  $f_o$  la cantidad exterior, es similar a la conductancia. Sin embargo en la refrigeración son paredes aislantes, la conductividad es muy baja y la resistencia pelicular tiene poco efecto y por consiguiente puede ser omitida en los cálculos.

#### 3.2.1.8.1 Ciclo Inverso de Carnot

El fluido que opera en el sistema (gas o vapor) describe un movimiento giratorio en el sentido de las agujas del reloj para que, mediante la adición y sustracción de calor, obtener un trabajo mecánico en una turbina o un pistón.

En el ciclo inverso, el sentido de giro es opuesto al de las agujas del reloj, y en el aportamos trabajo mecánico para obtener dos focos, uno frío y otro caliente.

En otras palabras, mediante aporte de trabajo conseguimos hacer un trasvase de calor desde el foco frío al foco caliente.

Este proceso es el principio de funcionamiento de la mayoría de las máquinas frigoríficas.

Las máquinas reales no realizan este ciclo (figura 3.15), el cual es puramente teórico, sí que nos sirve para su explicación y mejor comprensión.

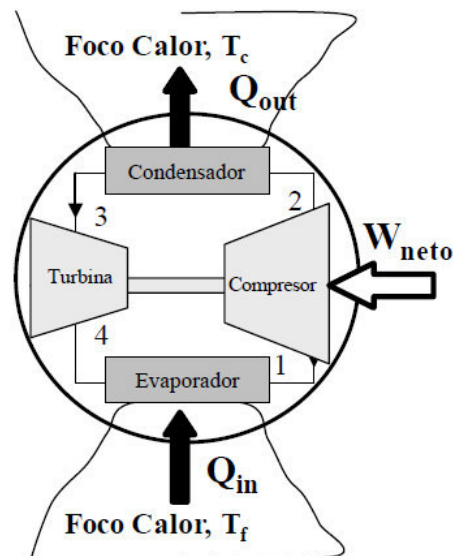
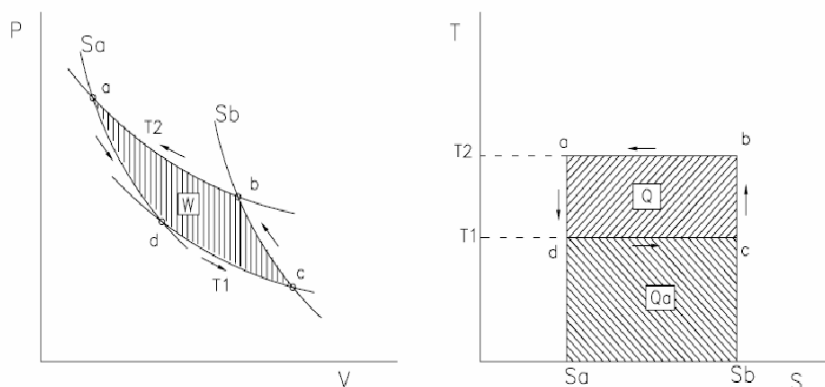


Figura 3.15: Ciclo Inverso de Carnot

Fuente: Manual del Aire Acondicionado, Carrier – Ed. Marcombo.

Esta forma de funcionamiento del ciclo sirve para generar calor mediante la denominada “bomba de calor” y fundamentalmente como sistema de extracción de calor o, lo que es lo mismo, generación de frío. Para el análisis del funcionamiento vamos a suponer la realización del ciclo inverso de Carnot para el caso de vapor (figura 3.16). Se propone este en vez del ciclo para gas, por ser el más similar al utilizado realmente y por el paralelismo existente con el ciclo inverso de Rankine, mucho más cercano al real.



CICLO INVERSO DE CARNOT

Figura 3.16: Ciclo Inverso de Carnot

Fuente: Manual del Aire Acondicionado, Carrier – Ed. Marcombo.

En este esquema tenemos que tener en cuenta que dentro de la campana comprendida entre vapor recalentado y líquido subenfriado las isotermas coinciden con isóbaras.

- a-d Expansión isentrópica en la turbina o válvula de expansión.
- d-c Agua vaporiza a P y T constantes en el evaporador.
- c-b Compresión isentrópica en el compresor.
- b-a Condensación a P y T constantes en el condensador. Licua el vapor.

En los procesos b-a y d-c se producen cambios de estado en el fluido. El proceso d-c se produciría en el evaporador de la hipotética máquina de frío y el proceso b-a en el condensador de nuestra máquina.

Para realizar el proceso “bomba de calor” el proceso es idéntico solo cambiando la posición del evaporador y el condensador (dentro o fuera del lugar que queremos refrigerar o calentar).

El proceso de compresión c-b se realizaría mediante una bomba que impulsaría y aumentaría la presión del sistema, con la particularidad en el ciclo de Carnot para agua, que este compresor debería tener que trabajar con el fluido en fase gaseosa y líquida.

La expansión isentrópica a-d se realizaría en una válvula de expansión, siendo posible también realizarse esta en una turbina de la que se podría aprovechar su trabajo mecánico.

Esta última opción es poco utilizada debido fundamentalmente al escaso trabajo mecánico que se obtendría de esta turbina.

Como antes se apuntó este ciclo es teórico y sería el agua el fluido encargado de realizar el proceso, pudiendo encontrar está en estado líquido o gaseoso.

Los inconvenientes principales que presenta este ciclo para su realización práctica son el bajo rendimiento energético que se obtiene de él, la necesidad de utilizar para el proceso un compresor que trabaje tanto con agua en estado vapor como en estado líquido, con alto coste que implica y la dificultad de manejar agua a presiones muy altas en una parte del circuito y extremadamente baja en otra.



### **3.2.1.8.2 Ciclo de refrigeración**

Para nuestro estudio y para efectos prácticos se analizara el sistema de refrigeración por compresión de vapor.

El sistema consiste básicamente en cuatro dispositivos indispensables para conseguir un ciclo termodinámico cerrado y varios equipos auxiliares sin ser absolutamente necesarios.

La figura representa el diagrama de flujo de todos los componentes del sistema, así como también ilustra el proceso de condensación y el reciclado total de la sustancia de trabajo, llamado refrigerante.

Vamos a explicar de la forma más sencilla y breve y sin entrar en detalles de precisión y el recorrido que realiza a lo largo de un ciclo completo en una máquina de refrigeración.

Comenzaremos cuando el refrigerante es aspirado por el compresor. En ese instante los gases son comprimidos a alta presión recibiendo una energía mecánica y pasando a la cámara de descarga.

El gas recalentado pasa así al condensador donde se enfría al ceder calor al medio que lo rodea, normalmente agua y/o aire, hasta llegar a la temperatura a la cual se condensa pasando así al estado líquido.

La temperatura a la cual se produce este cambio depende de la precisión existente en esos momentos en el condensador y de la naturaleza del refrigerante que utilice el sistema.

El refrigerante en estado líquido sale del condensador y se dirige a la válvula de expansión. Dicha válvula de expansión hace pasar el refrigerante a una presión y temperatura inferior entrando en ese estado en el evaporador.

Una vez que se encuentra en el interior del evaporador el refrigerante comienza a hervir debido al calor que absorbe del medio circulante, normalmente aire/agua, hasta pasar todo a estado gaseoso.

Todo este proceso se debe a que la temperatura a la cual se evapora el refrigerante es muy baja.

El gas se dirige entonces al compresor donde es aspirado de nuevo por este y dando comienzo un nuevo ciclo. El siguiente diagrama muestra el recorrido que realiza el refrigerante a través del sistema (figura 3.17).

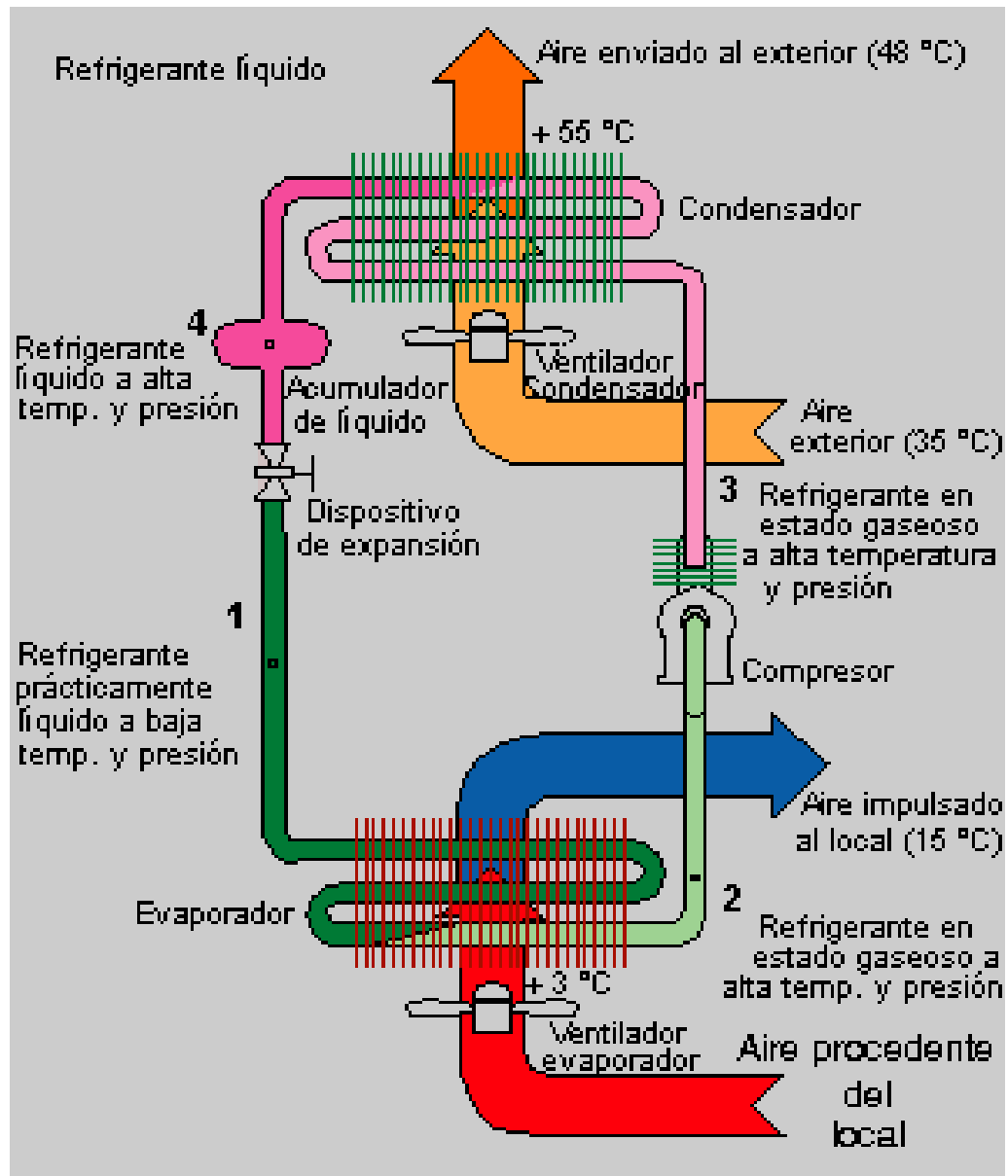


Figura 3.17: Ubicación de las partes principales del sistema de refrigeración.

Fuente: Manual del Aire Acondicionado, Carrier – Ed. Marcombo.

La figura 3.18 nos muestra el diagrama de presión( P) y entalpia (h) dentro de un ciclo de refrigeración.

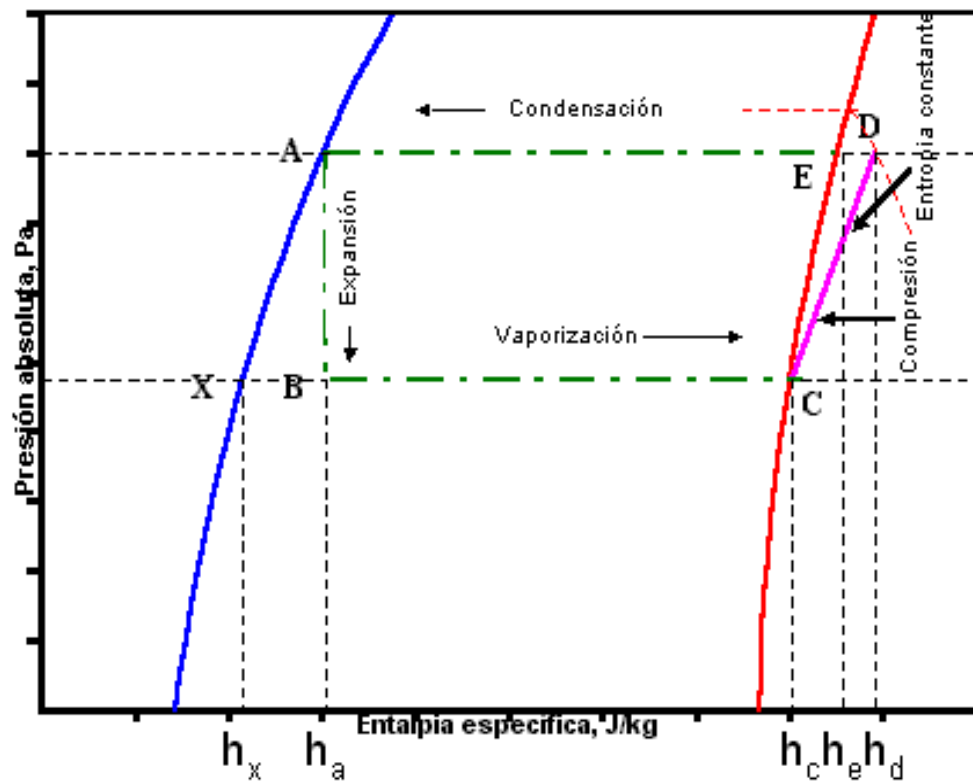


Figura 3.18: Diagrama Presión (P) Entalpia (h).

Fuente: Manual del Aire Acondicionado, Carrier – Ed. Marcombo.

**Dónde:**

- B-C Evaporador
- B-C Compresor
- D-A Condensador
- A-B Válvula de Expansión.

- **Selección del medio enfriante para los equipos de refrigeración**

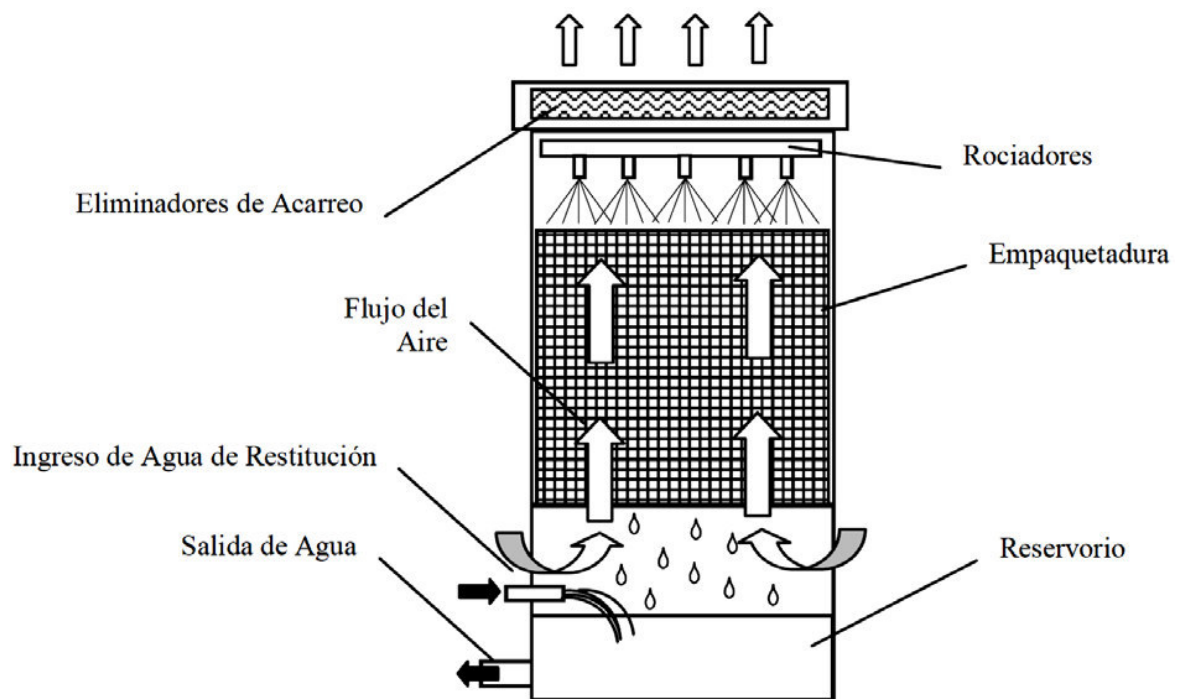
### **3.2.2 Torre de Enfriamiento**

Las torres de enfriamiento o refrigeración son estructuras que sirven para refrigerar agua y otros medios a temperaturas muy altas. El uso principal de las torres de refrigeración es el de rebajar la temperatura del agua utilizada en plantas de energía, refinerías de petróleo, plantas petroquímicas, plantas de procesamiento de gas natural y otras instalaciones industriales.

En definitiva podemos definir las torres de refrigeración como intercambiadores de calor, que aprovechando el principio de evaporación, por contacto directo entre el agua y el aire, se consigue reducir la temperatura del agua desde la entrada de la torre a la salida de la misma

El agua entraría por la parte superior de la torre y se distribuye uniformemente sobre el relleno utilizando pulverizadores, de esta forma conseguimos un buen contacto entre el agua y el aire (figura 3.19)..

El relleno sirve para aumentar el tiempo y la superficie de contacto entre el agua y el aire. Una vez establecido el contacto se produce una cesión de calor del agua al aire.



*Figura 3.19: Partes constructivas de una torre de enfriamiento*

*Fuente: Guía Técnica de Torres de Refrigeración, IDAE – Ed. 2003.*

La figura 3.20 representa el esquema de una torre como parte de un sistema de refrigeración de un edificio y la figura 3.21 representa el esquema de una torre asociada a un proceso industrial genérico. Un gran número de torres se destinan a refrigeración de procesos industriales.

En la figura 3.20 que corresponde a una torre como parte de un sistema de refrigeración de un edificio se aprecian tres circuitos:

1. El primer circuito mueve el agua de condensación almacenada en la balsa de la torre hasta el intercambiador de calor (condensador) donde el gas refrigerante se condensa. En la condensación el refrigerante cede calor al agua que se transporta a su vez de vuelta a la torre donde se pulveriza y se pone en contacto con la corriente de aire ascendente para conseguir su refrigeración por evaporación parcial..
2. El segundo circuito, transporta el refrigerante, un compuesto químico que tiene la particularidad de ceder o absorber gran cantidad de calor cuando cambia de estado. Para facilitar el cambio de estado se somete al refrigerante a cambios de presión, mediante un compresor se aumenta la presión del refrigerante en estado gaseoso y éste comienza a condensar cediendo calor que se absorbe a través del contacto indirecto con el agua fría procedente de la balsa de la torre. La presión se libera mediante una válvula de expansión que produce el cambio de líquido a gas del refrigerante en el evaporador, así como su enfriamiento. En este punto el refrigerante se pone en contacto con un tercer circuito de agua.
3. El tercer circuito es el encargado de transportar el agua refrigerada en el evaporador hasta las baterías de frío de las denominadas unidades de tratamiento de aire (UTA). Las baterías permiten el contacto indirecto (a través de tubos y aletas similares a un radiador de vehículo) del agua refrigerada con el aire interior de las salas a climatizar, produciendo un continuo enfriamiento del aire.

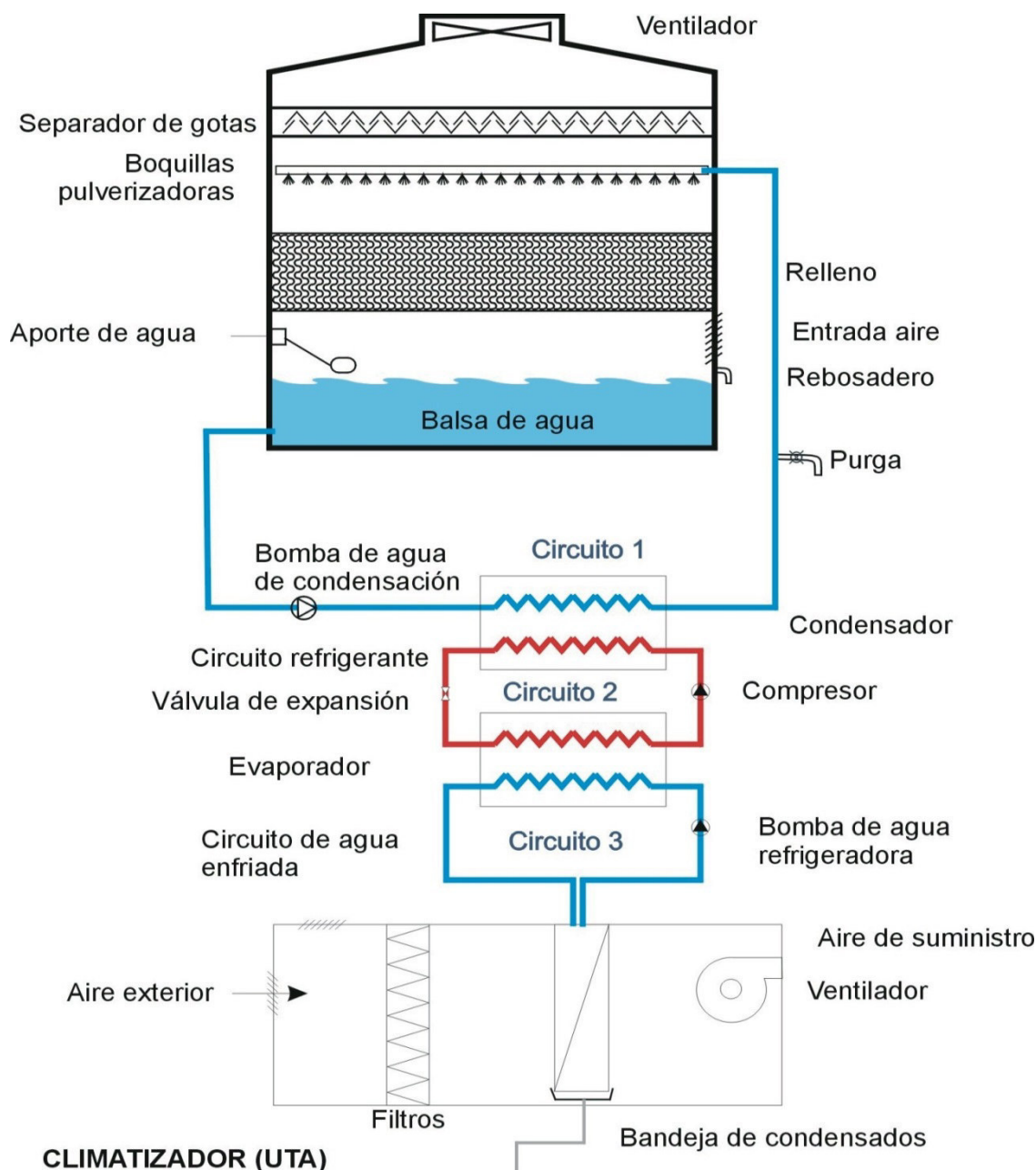


Figura 3.20: Esquema de una torre como parte de un sistema de refrigeración.

Fuente: Guía Técnica de Torres de Refrigeración, IDAE – Ed. 2003.

En la figura 3.21 se aprecia un único circuito de agua que realiza constantemente un ciclo en el que se produce una pulverización para promover su evaporación parcial y por tanto disminuir su temperatura al caer a la balsa. El agua de la balsa refrigerada se envía al punto del proceso industrial que se desea refrigerar y se pone en contacto a través de un intercambiador de calor o sistema similar, normalmente no se produce mezcla del agua con los elementos a refrigerar sino que se realiza un contacto indirecto a través de tuberías, intercambiadores, camisas de refrigeración, baños, etc.

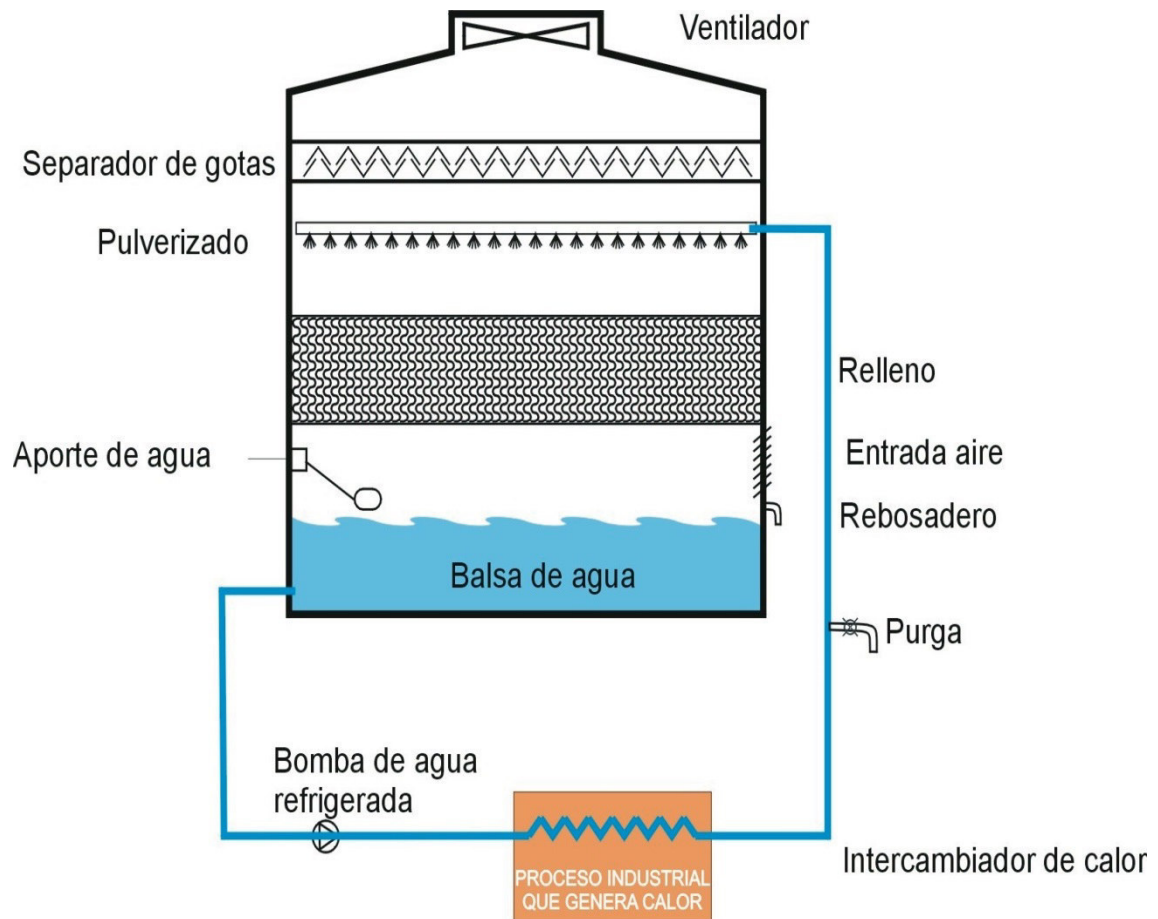


Figura 3.21: Esquema de una torre destinada a la refrigeración de un proceso industrial

Fuente: Guía Técnica de Torres de Refrigeración, IDAE – Ed. 2003.

El calor del agua se transfiere al aire de tres formas: radiación, conducción (del 30 al 10%) y evaporación (proceso más importante, del 70 al 90%)(figura 3.22).

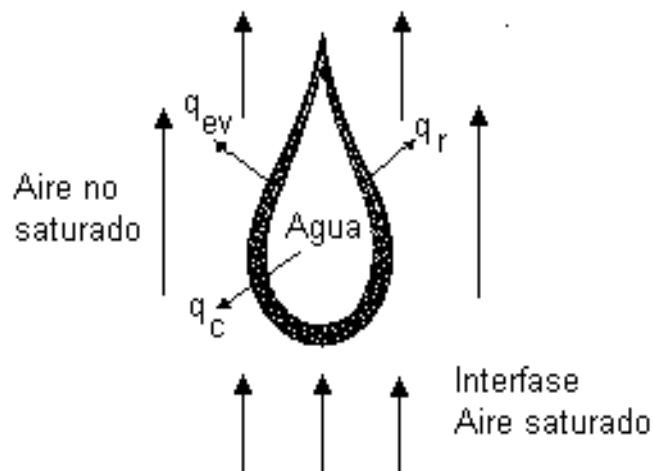


Figura 3.22: Transferencia de calor del agua hacia el aire

Fuente: Guía Técnica de Torres de Refrigeración, IDAE – Ed. 2003.

Hay diversos tipos de torre de refrigeración, según la forma en que se mueve el aire pueden ser de tiro mecánico, las cuales utilizan ventiladores para mover el aire; o también pueden ser de tiro natural, que dependen de las condiciones climatológicas.

También se pueden clasificar atendiendo a la dirección del aire con respecto al agua, así pues, pueden ser: flujo cruzado o flujo contracorriente.

### **3.2.2.1 Clasificación de las torres de enfriamiento**

Generalmente las torres de refrigeración se clasifican según se mueva el aire en el interior de éstas.

1. Torre de enfriamiento de tiro mecánico
  - a. Tiro mecánico
  - b. Tiro inducido
2. Torre de enfriamiento de tiro natural

#### **3.2.2.1.1 Torres de enfriamiento de tiro mecánico**

Las torres de tiro mecánico proporcionan un control total sobre el caudal de aire suministrado.

En este tipo de torre se puede controlar de forma precisa la temperatura de salida del agua, consiguiendo valores de acercamiento muy pequeños.

Según donde esté situado el ventilador estas torres se pueden clasificar en tiro forzado, el ventilador está situado en la entrada de aire, o tiro inducido, cuando está situado en la zona de descarga del aire.

##### **3.2.2.1.1. Torre de enfriamiento de tiro forzado**

En este tipo de torres se hace entrar al aire por la base, donde está montado el ventilador, y se expulsa por la parte superior a baja velocidad. Tiene la ventaja de que la inspección, mantenimiento y reparación del ventilador y motor es fácil ya que se encuentran montados fuera de la torre. Este tipo de torre está sujeta a una recirculación grande del aire debido a la baja velocidad con la que sale de la torre.

Son, casi siempre, de flujo a contracorriente.



- **Torre de enfriamiento de tiro forzado y flujo a contracorriente** (figura 3.23).

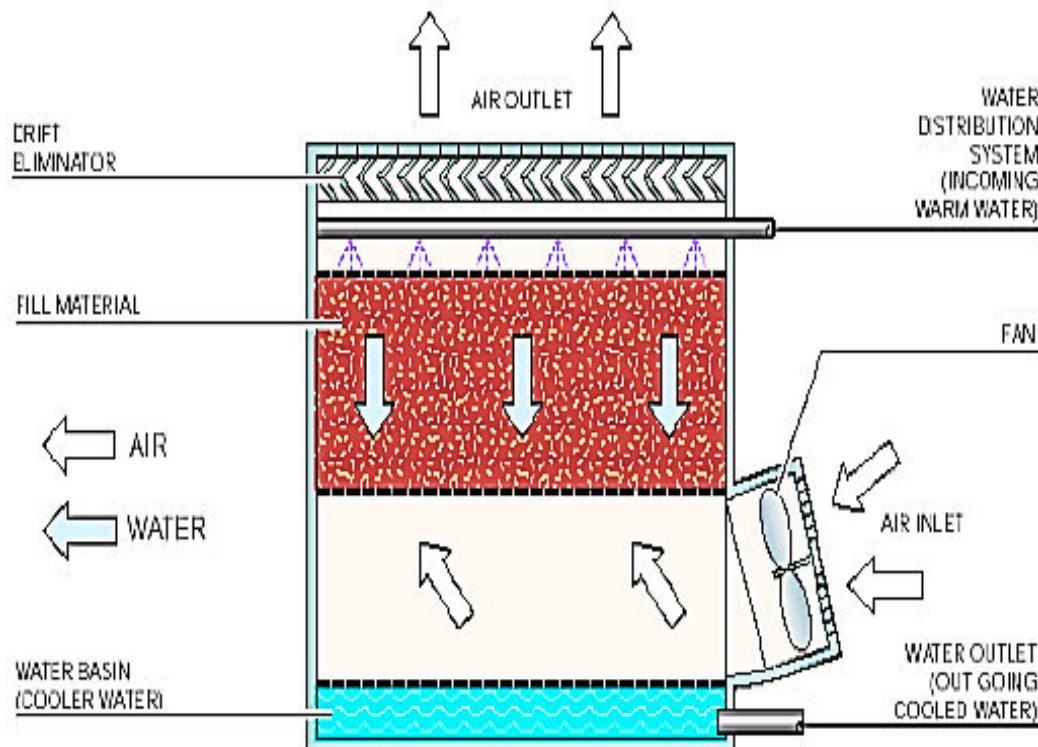


Figura 3.23: Torre de enfriamiento de tiro forzado y flujo a contracorriente.

Fuente: Guía Técnica de Torres de Refrigeración, IDAE – Ed. 2003.

- **Torre de enfriamiento de tiro forzado y flujo cruzado** (figura 3.24).

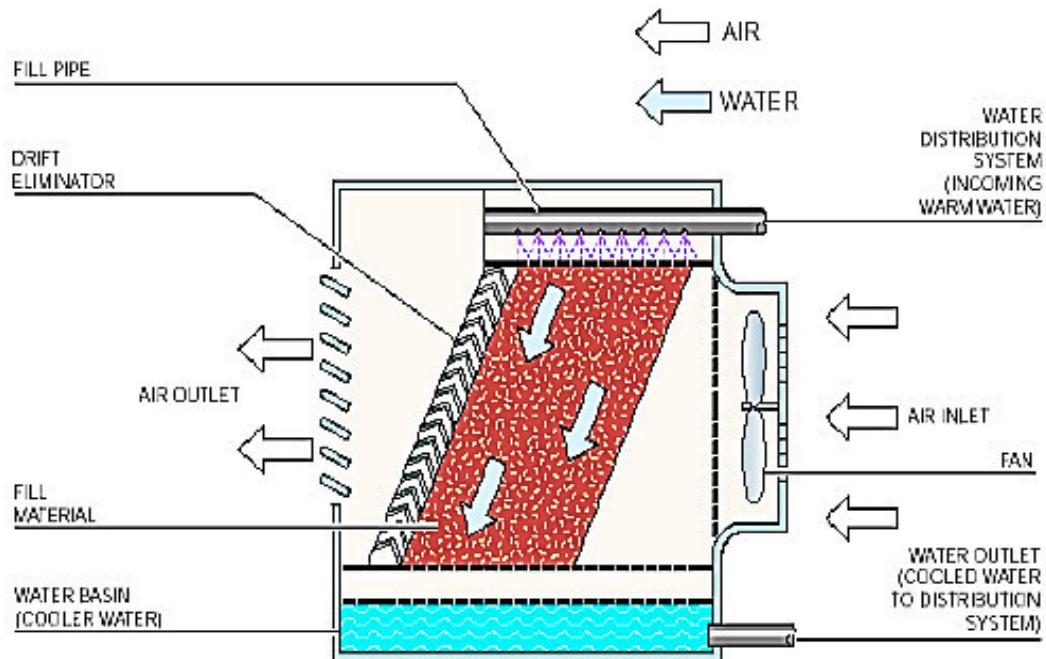


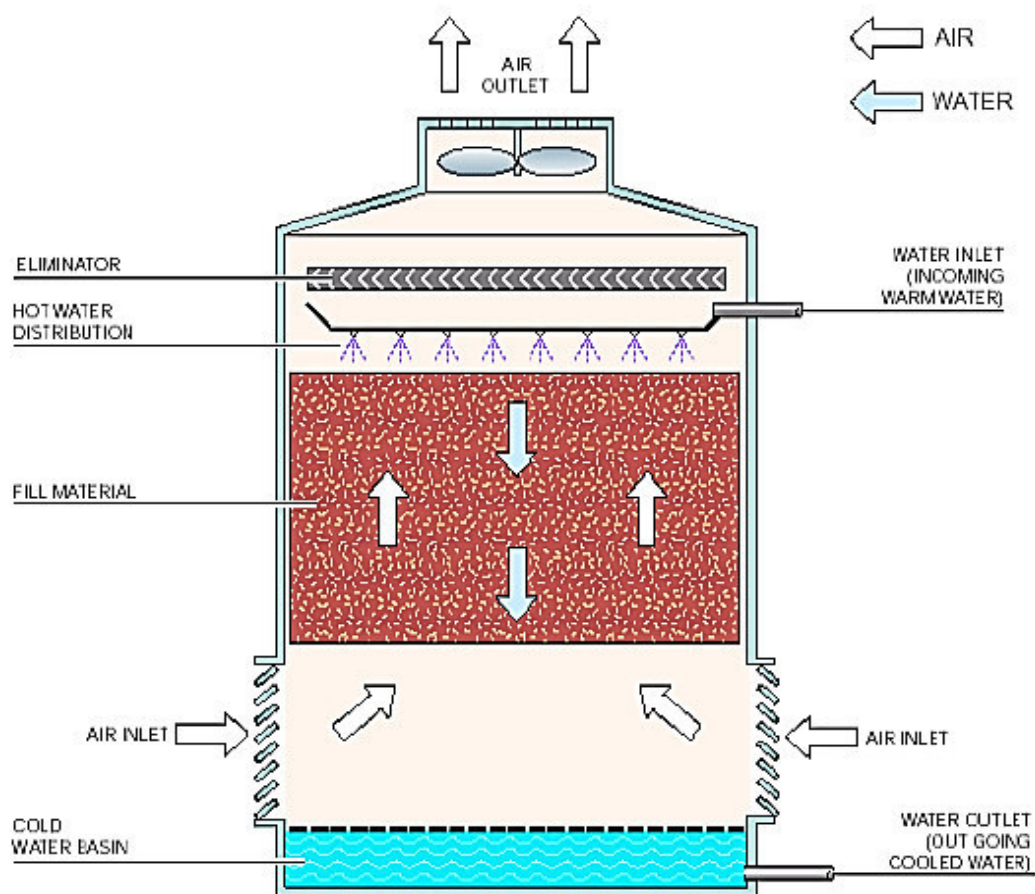
Figura 3.23: Torre de enfriamiento de tiro forzado y flujo cruzado.

Fuente: Guía Técnica de Torres de Refrigeración, IDAE – Ed. 2003.

### 3.2.2.1.2 Torres de enfriamiento de tiro inducido

Las torres de tiro inducido pueden ser de flujo a contracorriente (figura 3.24) o de flujo cruzado (figura 3.25). El flujo a contracorriente significa que el aire se mueve verticalmente a través del relleno, de manera que los flujos de agua y de aire tienen la misma dirección pero sentido opuesto. Y en las de flujo cruzado el aire circula en dirección perpendicular al agua.

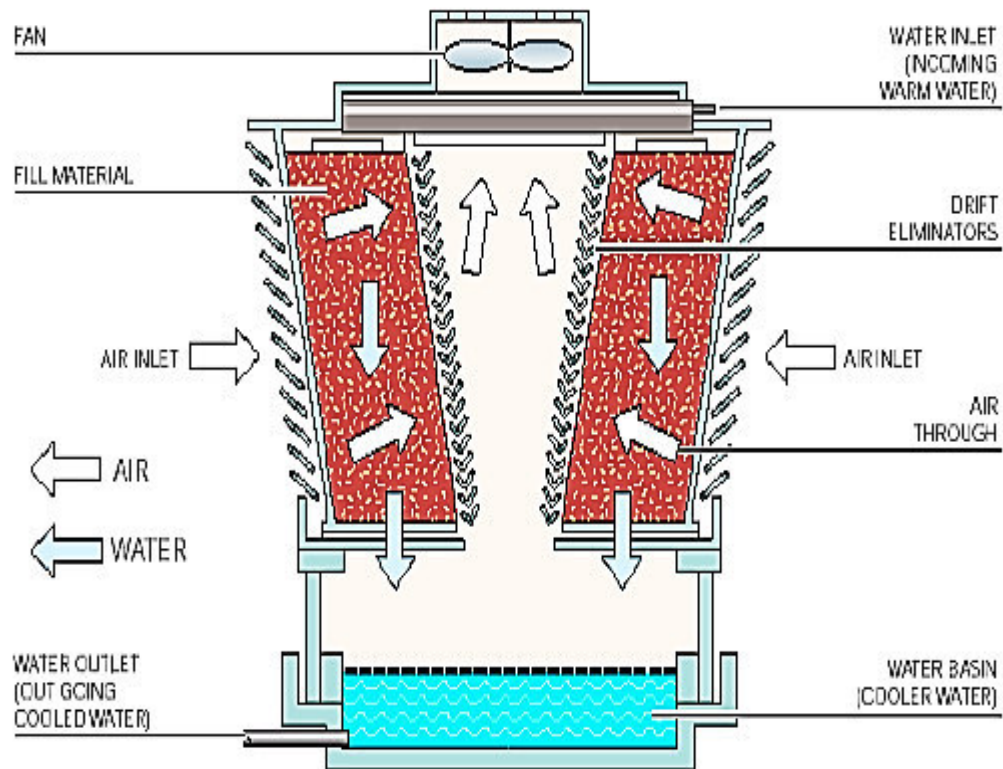
- **Torre de enfriamiento de tiro inducido y flujo a contracorriente**



*Figura 3.24: Torre de enfriamiento de tiro inducido y flujo a contracorriente.*

*Fuente: Guía Técnica de Torres de Refrigeración, IDAE – Ed. 2003.*

- **Torre de enfriamiento de tiro inducido y flujo cruzado**



*Figura 3.25: Torre de enfriamiento de tiro inducido y flujo cruzado.*

*Fuente: Guía Técnica de Torres de Refrigeración, IDAE – Ed. 2003.*

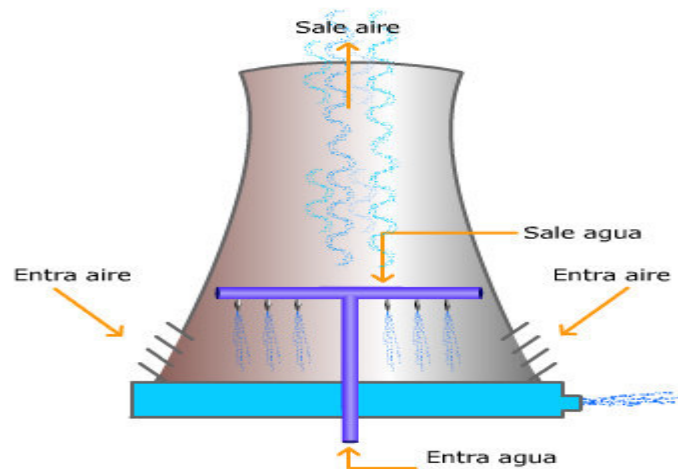
### 3.2.2.1.2 Torres de enfriamiento de tiro natural

Las torres de tiro natural son en las que el aire es inducido por una gran chimenea situada sobre el relleno. Los motivos por los que el aire es inducido dentro de la torre son:

- La diferencia de densidades entre el aire húmedo caliente y el aire de fuera de la torre
- La diferencia de velocidades entre el viento a nivel del suelo y el viento que circula por la parte superior de la chimenea.

Las torres de tiro natural han de ser altas y, además deben tener una sección transversal grande para facilitar el movimiento del aire ascendente.

Las torres de tira natural (figura 3.26) tienen bajos costos de mantenimiento y son muy indicadas para enfriar grandes caudales de agua.



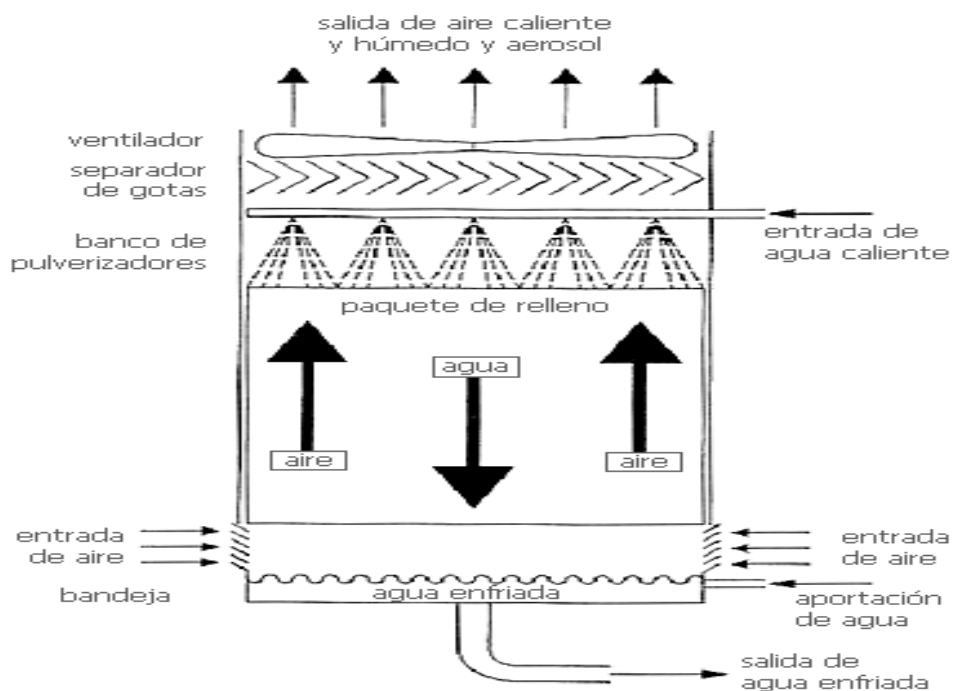
*Figura 3.26: Torres de enfriamiento de tiro natural.*

*Fuente: Guía Técnica de Torres de Refrigeración, IDAE – Ed. 2003.*

### 3.2.2.2 Partes de una torre de enfriamiento

Explicaremos las diferentes partes de una torre de tiro mecánico, ya que son las más frecuentes.

A continuación podemos observar un esquema de este tipo de torre con sus diferentes partes (figura 3.27):



*Figura 3.27: Partes de una torre de enfriamiento.*

*Fuente: Guía Técnica de Torres de Refrigeración, IDAE – Ed. 2003.*

### **a) Ventilador**

Es el encargado de crear el flujo de aire. El equipo completo se compone de motor, transmisión y aspas.

Estos equipos trabajan en condiciones complicadas, ya que están en continuo funcionamiento, en un ambiente de elevada humedad y temperatura. Los motores de la torre deben estar protegidos.

Las aspas juegan un papel importante, suelen ser de aluminio o plástico debido a su ligereza y resistencia a la corrosión. El número de aspas influye en la presión que se ejerce sobre ellas, a cuanto mayor número de aspas menor es la presión ejercida sobre ellas. Igualmente, un número mayor de aspas supone facilidades para un óptimo equilibrado.

El ventilador será determinado por las siguientes magnitudes:

- Caudal de aire.
- Presión estática a vencer.
- Nivel sonoro.

### **b) Relleno**

El relleno es la parte más importante en el proceso de intercambio de calor. El tamaño y volumen de la torre dependerán del relleno utilizado, así como su coste.

El relleno tiene dos funciones principales, proporcionar una superficie de contacto lo más grande posible entre el agua y el aire; y aumentar el tiempo de intercambio de calor entre el agua y el aire.

Se debe realizar de un material de bajo coste, ya que se utiliza mucho material, y resistente a las condiciones en las que debe trabajar. La superficie del relleno debe ser lo mayor posible en relación a su volumen, y su diseño debe permitir que el aire y el agua pasen fácilmente, consiguiendo así una menor resistencia y pérdida de carga, y también una distribución uniforme del aire y del agua.

La distribución del agua a través del relleno se puede hacer de tres maneras: salpicadura o goteo, película o laminares y de tipo mixto.

✓ **Relleno por película o laminar**

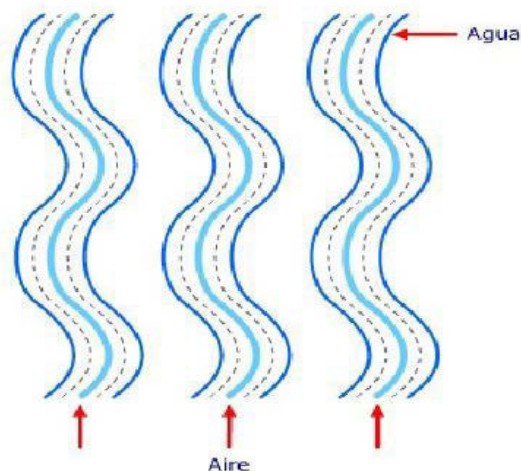
Son los más usados. Este tipo de relleno (figura 3.28) distribuye el agua en una fina película que fluye por la superficie, consiguiendo así una gran superficie de agua en contacto con la del aire. Ésta película debe ser muy delgada y cubrir la mayor superficie posible, procurándose que el agua descienda adherida a la superficie del relleno, evitando que el aire pueda separar el agua del relleno. Para conseguir estos objetivos se realiza grupos de láminas onduladas de PVC o PP colocadas de forma paralela y a cierta distancia formando cubos para favorecer su apilado.

Desventajas:

- Acumula residuos y suciedad, por lo que se necesitara un mantenimiento con mayor frecuencia.
- Es muy sensible a las variaciones de caudal de agua y de aire, así como a la distribución de la película.

Ventajas:

- La compacidad en este tipo de rellenos es mayor, consiguiendo una torre de menor volumen, y por lo tanto más económica.
- En este tipo de relleno no existen gotas, por lo tanto la velocidad del aire puede ser muy elevada, disminuyendo así la altura del relleno.



*Figura 3.28: Relleno tipo laminar de una torre de enfriamiento.*

*Fuente: Guía Técnica de Torres de Refrigeración, IDAE – Ed. 2003.*



### ✓ Relleno por goteo o salpicadura

En los relleno por salpicadura o goteo (figura 3.29), el agua cae en listones o rejillas, que están superpuestos en diversos pisos. El aire se mueve de manera vertical u horizontal, mientras el que agua se va fraccionando en gotas cada vez más pequeñas, al ir chocando con los diversos listones o rejillas. La superficie de estas gotas constituirá el área de intercambio de calor.

Desventajas:

- El agua de arrastre es mayor, por lo que habría que utilizar separadores de gotas de alto rendimiento.
- En este tipo de rellenos la superficie de intercambio por unidad de volumen es menor que los rellenos laminares o de película, por lo tanto, la altura de relleno será mayor, manteniendo el mismo área transversal.

Ventajas:

- Menor pérdida de carga.
- No se obstruyen con la suciedad o con las incrustaciones.
- Se consigue mayores saltos térmicos.

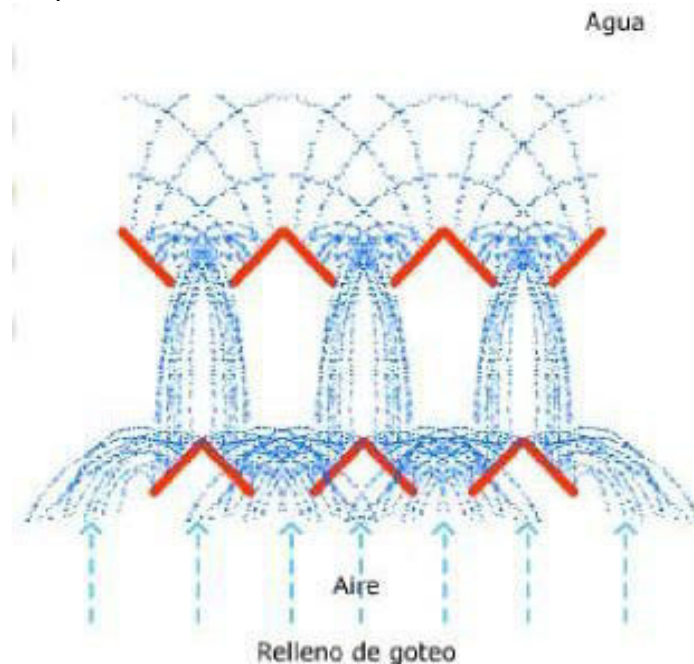


Figura 3.29: Relleno por goteo de una torre de enfriamiento.

Fuente: Guía Técnica de Torres de Refrigeración, IDAE – Ed. 2003.

### c) Separadores de gotas

La finalidad de los separadores de gotas (figura 3.30), es la de detener las gotas arrastradas por la corriente del aire a la salida de la torre. Esto se consigue variando de manera brusca la dirección del aire a la salida, la más efectiva es a 60 grados. Esta variación provoca que el agua arrastrada se deposite en la superficie del separador, cayendo posteriormente al relleno.

Los separadores de gotas reducen las pérdidas de carga, limitan la formación de neblinas y evita daños en el entorno de la torre (sobre todo si es agua salada).

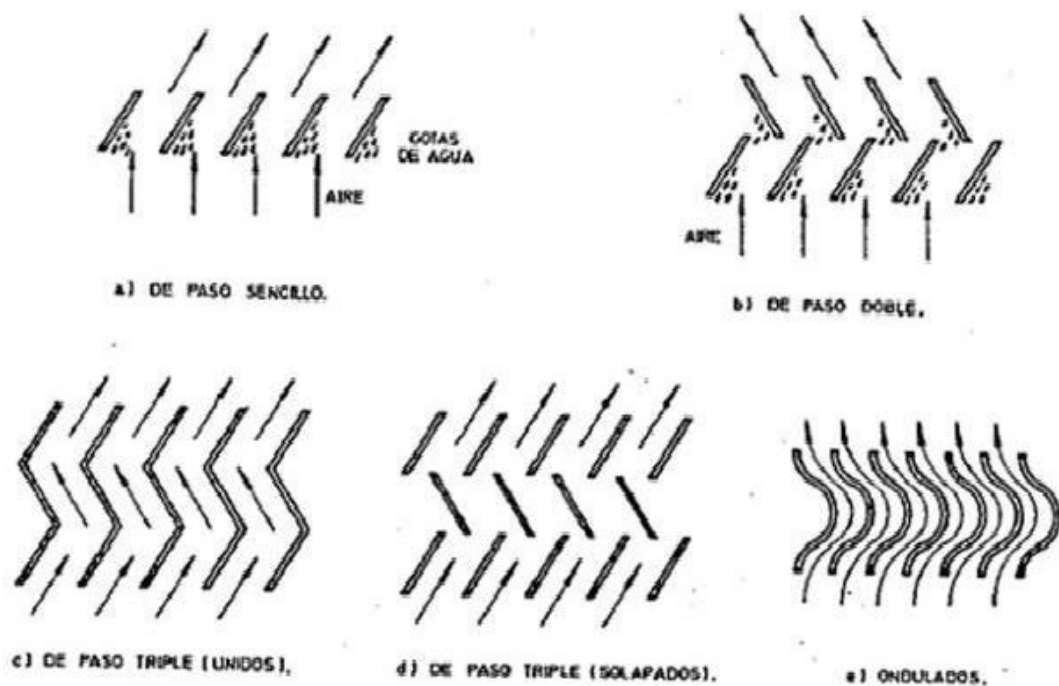


Figura 3.30: Separadores de gotas de una torre de enfriamiento.

Fuente: Guía Técnica de Torres de Refrigeración, IDAE – Ed. 2003.

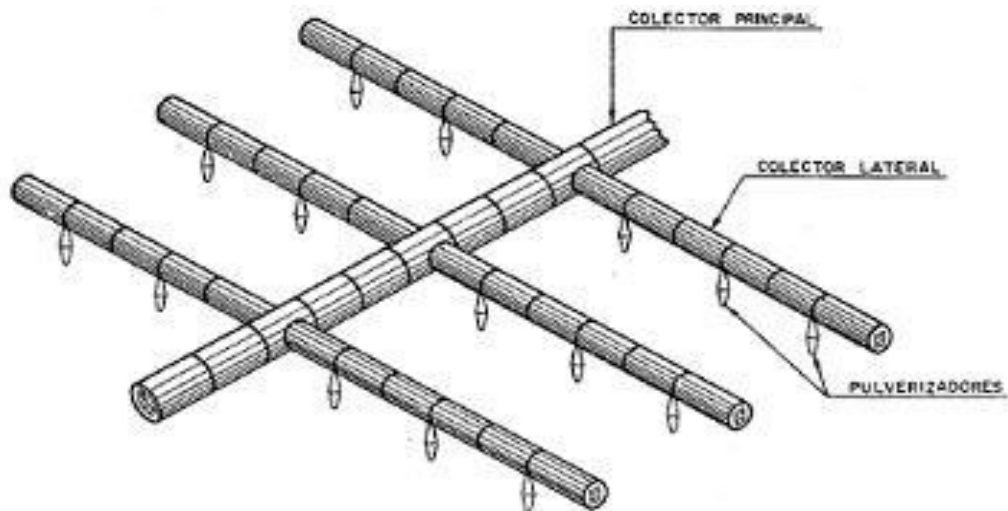
### d) Sistema de distribución de agua

Es un sistema de tuberías y conductos que su finalidad es la de repartir uniformemente el agua por encima del relleno. Existen dos métodos de reparto: por gravedad (figura 3.31) o por presión (figura 3.32). El funcionamiento del primer reparto consiste en llevar el agua caliente hasta una balsa situada encima del relleno, y una vez allí, ésta es distribuida a través de unos canales, el agua cae por su propio peso sobre unas piezas



en forma de herradura, las cuales sirven de enlace entre los canales y el relleno. En el segundo, la tubería contiene al agua con cierta presión (suministrada por las bombas de impulsión del circuito de refrigeración). El agua es conducida por tuberías hasta unos aspersores, que rocían el relleno con pequeñas gotas de ésta.

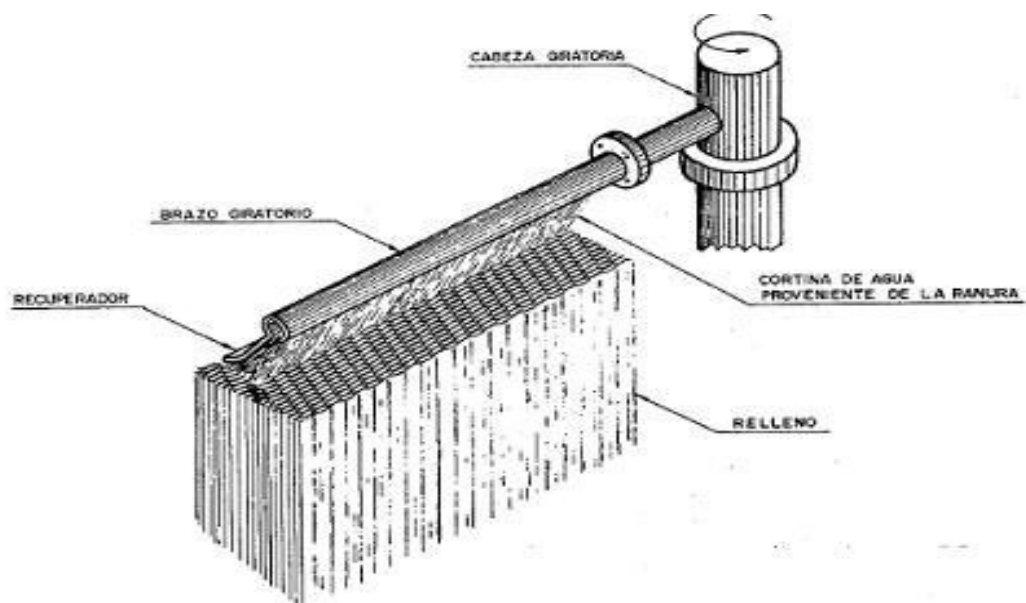
- **Por gravedad**



*Figura 3.31: Distribución de agua por gravedad de una torre de enfriamiento.*

*Fuente: Guía Técnica de Torres de Refrigeración, IDAE – Ed. 2003.*

- **Por presión**



*Figura 3.32: Distribución de agua por presión de una torre de enfriamiento.*

*Fuente: Guía Técnica de Torres de Refrigeración, IDAE – Ed. 2003.*

### e) Pulverizadores

Su misión es la de dividir lo más finamente posible el tamaño de la gota, compatible con los arrastres de aire, con el objetivo de aumentar la superficie y repartir homogéneamente el caudal de agua sobre el relleno.

Son de dos tipos:

- Platos de salpicadura: estos son característicos de los sistemas por gravedad, con canales o balsillas.
- Boquillas de baja presión: estos son utilizados en los colectores cerrados de baja presión, pudiendo colocarse en la parte inferior del tubo (down-spray – figura 3.33) o bien en la parte alta (up-spray – figura 3.34) para facilitar su limpieza y conservación y cuando la separación con el relleno sea pequeña.

- **Tipo up-spray**



*Figura 3.33: Pulverizador tipo up-spray de una torre de enfriamiento.*

*Fuente: Guía Técnica de Torres de Refrigeración, IDAE – Ed. 2003.*

- **Tipo down-spray**



*Figura 3.34: Pulverizador tipo up-spray de una torre de enfriamiento.*

*Fuente: Guía Técnica de Torres de Refrigeración, IDAE – Ed. 2003.*

**f) Bandeja o balsa**

Suelen ser de hormigón y sirven como cimentación de la torre, así como de depósito de agua fría.

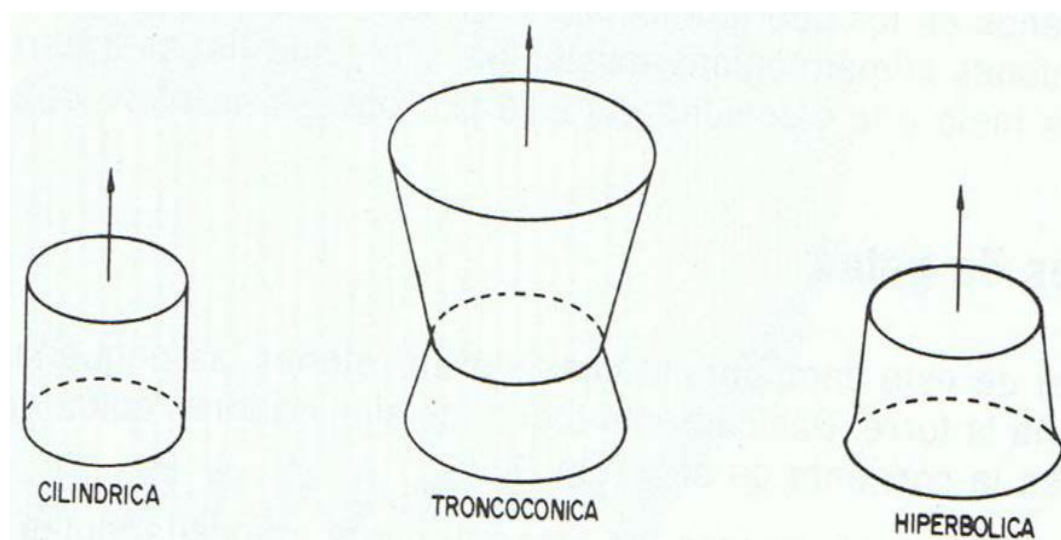
**g) Sistema de agua de aporte**

La evaporación de agua en la torre provoca una disminución del volumen de agua de ésta. Por otro lado, la concentración de sales en el agua se controla con un régimen adecuado de purgas. La evaporación y las purgas hacen que sea necesario el aporte constante de agua.

**h) Chimenea o virola**

La chimenea o virola (figura 3.35), está situada en la parte superior de la torre y sirven para reducir la potencia absorbida, así como el riesgo de

recirculación; también sirven para proteger a los equipos mecánicos de golpes e interferencia y a los operadores.



*Figura 3.35: Tipos de chimenea de una torre de enfriamiento.*

*Fuente: Guía Técnica de Torres de Refrigeración, IDAE – Ed. 2003.*

### 3.2.2.3 Fundamentos teóricos de Torres de Enfriamiento

Las torres de enfriamiento son intercambiadores de calor que enfrían agua por medio de la evaporación. Este tipo de enfriadores se utiliza principalmente en los condensadores industriales. Las torres de enfriamiento son usadas cuando los rangos de enfriamiento son bajos, generalmente entre 5 y 25°C.

La temperatura mínima que se puede alcanzar con una torre de enfriamiento es la temperatura de bulbo húmedo del aire circundante.

- **Humidificación**

Normalmente al hablar de humidificación se hace referencia al estudio de mezclas de aire y vapor de agua, sin embargo las siguientes consideraciones se harán para cualquier tipo de mezclas constituidas por un gas y un vapor.

Suponiendo que el comportamiento de la mezcla cumple con las leyes de los gases ideales, la presión ejercida por la mezcla será igual a la suma de la presión parcial del gas y la del vapor,

$$P = p_v + p_g$$

En estas condiciones la fracción molar del vapor es:

$$y = \frac{n_v}{n_g} = \frac{p_v}{P}$$

La fracción molar es igual a la composición en volumen. Para expresar la concentración del vapor en el gas se emplean diversos términos que se definen enseguida.

- **Humedad molar o saturación molar**

Es la relación entre los números de moles de vapor de y de gas contenidos en una masa gaseosa.

$$Y_m = \frac{n_v}{n_g} = \frac{p_v}{p_g} = \frac{p_v}{P - p_v}$$

- **Humedad absoluta o saturación absoluta**

Es la relación entre el peso de vapor y el peso de gas contenido en una masa gaseosa.

$$Y = \frac{M_v}{M_g} \quad , \quad Ym = \frac{M_v}{M_g} * \frac{p_v}{P - p_v}$$

Siendo  $M_v$  y  $M_g$  las masas moleculares del vapor y del gas. Para el caso del sistema aire-agua,  $M_v$  es 18 y  $M_g$  es 29.

- **Humedad relativa o saturación relativa**

Es el cociente entre la presión parcial del vapor y la tensión de vapor a la misma temperatura.

$$\varphi = \frac{P_v}{P_v^*}$$

- **Humedad porcentual o saturación porcentual**

Es la relación entre la humedad existente en la masa gaseosa y la que existiría si estuviera saturada.

$$\varphi_p = \frac{Y}{Y^*} = \frac{p_v}{p_v^*} \left( \frac{P - p_v^*}{P - p_v} \right)$$

- **Punto de rocío**

Es la temperatura que alcanza la masa de gas húmedo en la saturación por enfriamiento a presión constante. Una vez alcanzada esta temperatura, si se continúa enfriando la mezcla se irá condensando el vapor, persistiendo las condiciones de saturación.

- **Volumen específico del gas húmedo**

Es el volumen ocupado por la mezcla que contiene 1 Kg de gas, y viene dado por:

$$V = \left( \frac{1}{M_g} + \frac{Y}{M_v} \right) \frac{RT}{P}$$

Para la mezcla aire-vapor de agua, tomando  $P$  en atmosferas y  $T$  en °K, el volumen específico, en  $m^3/Kg$  de aire seco, viene dado por:

$$V = \left( \frac{1}{29} + \frac{Y}{18} \right) \frac{0.082T}{P}$$

- **Calor específico del gas húmedo**

Es el calor que hay que suministrar a 1 Kg de gas y al vapor que contiene para elevar 1°C su temperatura, manteniendo constante la presión:

$$C = Cp_g + Cp_v Y$$

Para el caso de aire-vapor de agua:

$$C = 0.24 + 0.46Y \rightarrow \frac{Kcal}{Kg^{\circ}C}$$

$$C = 6.95 + 8.10Y \rightarrow \frac{BTU}{lbmol^{\circ}F}$$

- **Entalpía específica**

Es la suma de calor sensible de 1 Kg de gas, y el calor latente de vaporización del vapor que contiene a la misma temperatura a la que se refieren las entalpías.

$$H = C_g (T - T_o) + Y [C_v (T - T_o) + \lambda_o]$$

$$H = C(T - T_o) + Y\lambda_o$$

Para el caso de la mezcla aire-vapor de agua, la entalpía específica se calcula de la siguiente forma:

$$H = 6.95(T - T_o) + Y[8.10(T - T_o) + 19350] \rightarrow \frac{BTU}{lbmol}$$

- **Temperatura húmeda o temperatura de bulbo húmedo**

Es la temperatura límite de enfriamiento alcanzada por una pequeña masa de líquido en contacto con una masa mucho mayor de gas húmedo.

La determinación de esta temperatura se efectúa pasando con rapidez el gas por un termómetro cuyo bulbo se mantiene húmedo con el líquido que forma el vapor en la corriente gaseosa. Por lo general el bulbo del termómetro se envuelve en una mecha saturada. Durante este proceso si el gas no está saturado, se evapora algo de líquido de la mecha saturada hacia la corriente gaseosa en movimiento, llevándose el calor latente asociado. La eliminación de calor latente

da lugar a una disminución en la temperatura del bulbo del termómetro y la mecha, produciéndose una transferencia de calor sensible hacia la superficie de la mecha por convección desde la corriente gaseosa y por radiación desde los alrededores. La temperatura de bulbo húmedo es la que se obtiene ha estado estable con un termómetro expuesto a un gas que se mueve con rapidez.

Puede determinarse con alguna de las siguientes relaciones:

$$p_v^* - p_v = \frac{h_c}{k_G M v \lambda_w} (t - t_w)$$

$$Y_w - Y = \frac{k_G/k_Y}{\lambda_w} (t - t_w)$$

Dónde:

$p_v^*$  = tensión de vapor del líquido a la temperatura húmeda .

$p_v$  = presión parcial del vapor en el gas.

$h_c$  = coeficiente de convección líquido-gas.

$k_G$  = coeficiente de transporte de materia, tomando como potencial de difusión la presión de vapor.

$k_Y$  = coeficiente de transporte de materia, tomando como potencial de difusión la saturación absoluta.

$Mv$  = masa molecular del vapor.

$\lambda_w$  = calor latente de vaporización del líquido a la temperatura húmeda.

$t$  = temperatura de la masa gaseosa.

$t_w$  = temperatura húmeda.

$Y_w$  = humedad absoluta de saturación a la temperatura húmeda.

$Y$  = humedad absoluta de la masa gaseosa.



- **Temperatura de saturación adiabática**

Es la temperatura alcanzada por una masa de gas cuando se pone en contacto con un líquido en condiciones adiabáticas.

$$Y_s - Y = \frac{C}{\lambda_s} (t - t_s)$$

Dónde:

$Y_s$  = humedad de saturación a la temperatura de saturación adiabática.

$t_s$  = temperatura de saturación adiabática.

$\lambda_s$  = calor latente de vaporización del líquido a  $t_s$ .

$C$  = calor específico de la masa húmeda.

$Y$  = humedad absoluta de la masa gaseosa.

$t$  = temperatura de la masa gaseosa.

Todos estos conceptos y ecuaciones se conjugan para poder realizar una operación en una torre de enfriamiento y nos ayuda a comprender su operación y funcionamiento, así como también predecir datos y experimentar cosas nuevas.

- **Diagrama psicrométrico**

Es una representación gráfica de las ecuaciones analíticas indicadas anteriormente.

Enseguida se muestra la figura 3.36, un diagrama psicrométrico el cual nos permitirá explicar las ecuaciones anteriores. Este diagrama es para las mezclas de aire y vapor de agua a una atmósfera de presión.

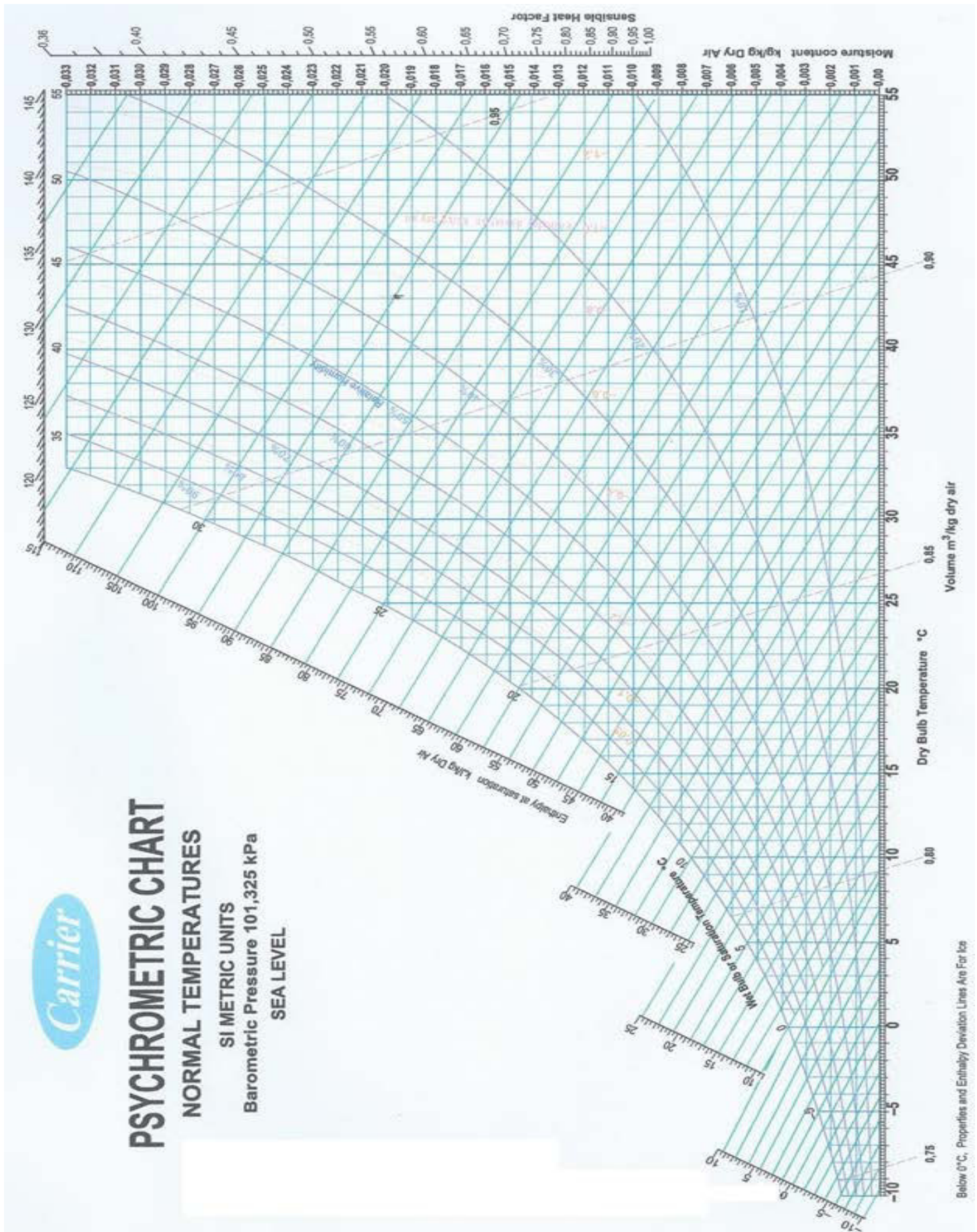


Figura 3.36: Carta psicométrica.

Fuente: Manual del Aire Acondicionado, Carrier – Ed. Marcombo.

### 3.2.3 Bomba de Agua

Una bomba es una turbo máquina para líquidos. La bomba (figura 3.37), se usa para transformar la energía mecánica en energía hidráulica. Las bombas se emplean para bombear toda clase de líquidos (agua, aceites de lubricación, combustibles ácidos, líquidos alimenticios, cerveza, leche, etc.), éste grupo constituye el grupo importante de las bombas sanitarias. También se emplean para bombear los líquidos espesos con sólidos en suspensión, como pastas de papel, melazas, fangos, desperdicios, etc. Un sistema de bombeo puede definirse como la adición de energía a un fluido para moverse o trasladarse de un punto a otro.

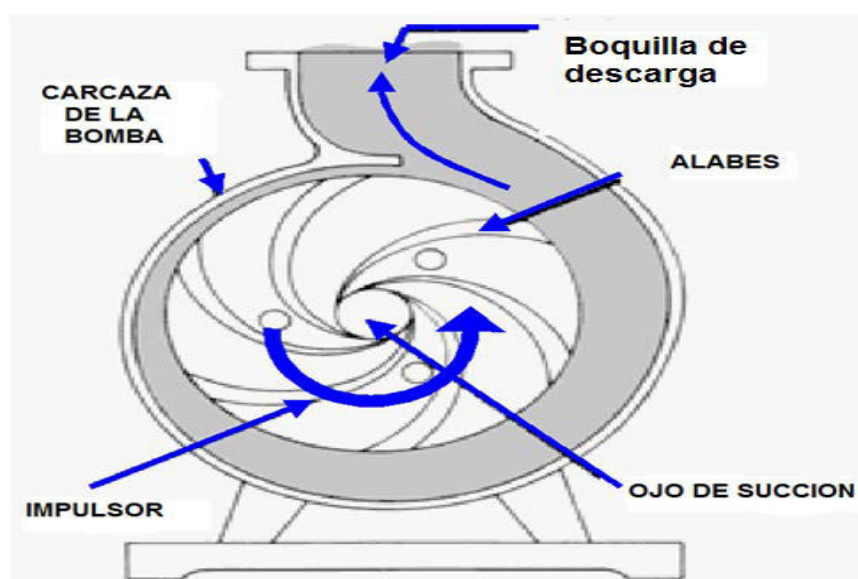


Figura 3.37: Partes de una bomba.

Fuente: Guía técnica Selección de equipos de transporte de fluidos, IDEA - 2012.

#### 3.2.3.1 Circuitos cerrados de circulación

Las bombas son dispositivos mecánicos empleados para el transporte de líquidos por las redes de tuberías, en el presente capítulo nos centraremos en las bombas empleadas en circuitos cerrados de instalaciones de calefacción, aire acondicionado, energía solar y agua caliente sanitaria.

El transporte del fluido en estas instalaciones se realiza con el objeto de transportar energía entre los distintos elementos de la instalación. Se trata de aplicaciones donde lo que se pretende es transportar energía y no transportar agua (como ocurre en instalaciones de abasteciendo de agua).

En circuitos de recirculación, la energía de bombeo se emplea únicamente para vencer pérdidas hidráulicas. El correcto diseño de los circuitos, así como la selección de la bomba más adecuada, afecta de forma muy importante al consumo energético.

### 3.2.3.2 Elementos característicos de las bombas

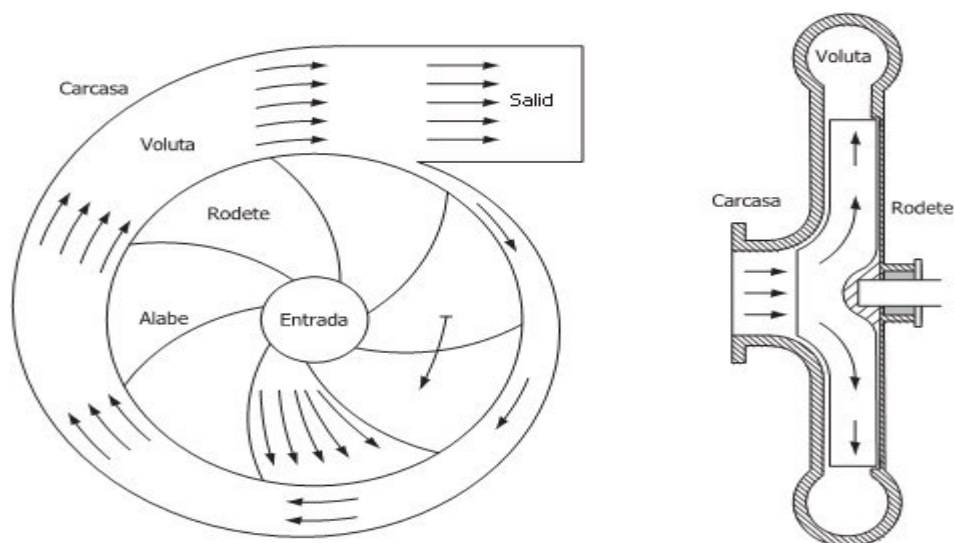
Las bombas objeto de este trabajo son máquinas rotodinámicas o turbomáquinas, las cuales tienen dos partes principales: la parte móvil o rodete, y la parte fija o estator.

La Figura 3.38 muestra de forma esquemática las partes de una bomba centrífuga.

A continuación se describen las características más destacables de los elementos principales de las bombas centrífugas:

- **Rodete**

El rodete o impulsor es el elemento principal de las turbomáquinas. Su diseño se realiza de forma que para el punto nominal de funcionamiento, el flujo circule por los canales formados por los álabes sin choques y optimizando al máximo el momento cinético del flujo a la salida. Las bombas centrífugas suelen tener entre 5 y 9 álabes. Cuantos más álabes se forman más canales, y el flujo es mejor conducido por los mismos tomando mejor la componente de velocidad deseada. Por el contrario, los álabes disminuyen la sección de paso y forman más superficies donde existirá fricción.



*Figura 3.38: Elementos principales de las bombas.*

*Fuente: Guía técnica Selección de equipos de transporte de fluidos, IDEA - 2012.*

- **Voluta**

Se trata de un canal de sección creciente que rodea al rodete, recogiendo el fluido que sale del mismo. La misión de la voluta es la de reducir la energía cinética del flujo de forma ideal (sin pérdidas) de forma que esta energía pase a presión estática.

### 3.2.3.3 Principio de funcionamiento de una bomba

En circuitos cerrados se emplean generalmente bombas rotodinámicas accionadas mediante un motor eléctrico. Las bombas absorben energía eléctrica de la red y proporcionan energía al fluido.

El motor eléctrico mueve el rodete a su velocidad de giro comunicándole su potencia. El rodete está provisto de alabes que forman unos canales de forma que producen a la salida del flujo una velocidad en dirección tangencial elevada. Se produce un cambio de momento cinético del flujo entre la entrada y la salida del rotor, debido a una transmisión de par rodete-fluido y por tanto a un intercambio de energía rodete-fluido.

La Figura 3.39 muestra las componentes de la velocidad del flujo a la entrada y a la salida de la bomba. El diseño se suele realizar de forma que a la entrada el flujo tenga dirección radial. El momento cinético o par del flujo a la entrada es, por tanto, nulo.

Sin embargo, a la salida el flujo presenta una componente de velocidad tangencial importante provocada por el rodete. A la salida del rodete, la velocidad de arrastre es muy superior a la velocidad relativa. Despreciando la velocidad relativa frente a la velocidad de arrastre, se puede suponer que tanto la velocidad absoluta como su componente rotacional son similares a la velocidad de arrastre. El par del flujo sobre eje es por tanto:

$$M = RV_{abs,r} \approx RV_{arr} \approx R^2\Omega$$

Y la energía específica:

$$W_{esp} = R\Omega V_{abs,r} \approx R\Omega V_{arr} \approx R^2\Omega^2$$

Expresión que proporciona la energía específica máxima que el rodete de diámetro  $R$  de una bomba gira a  $\Omega$  puede suministrar al fluido.



A la salida del rodete la velocidad del flujo es muy elevada, mientras que la velocidad del flujo a la salida de la bomba es muy inferior. En la voluta se recoge el flujo al tiempo que se reduce la velocidad del flujo y la presión aumenta.

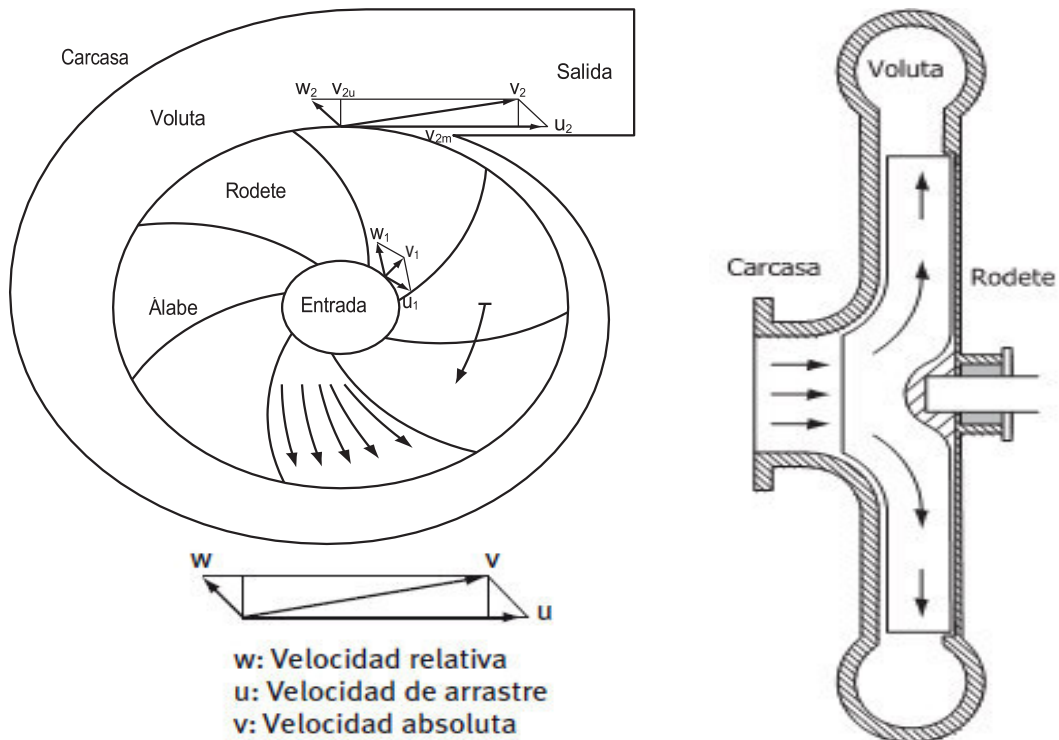


Figura 3.39: Principio de funcionamiento de las bombas rotodinámicas.

Fuente: Guía técnica Selección de equipos de transporte de fluidos, IDEA – 2012.

La voluta de la bomba está diseñada para conseguir la mayor conversión de la energía cinética del fluido en energía en forma de presiones, bien mediante un incremento uniforme de su sección de paso o mediante alabes difusores. Si la velocidad se reduce de forma ideal, sin turbulencias ni pérdidas, puede aplicarse la ecuación del flujo ideal entre la salida del rodete (2) y la salida de la bomba (3):

$$p_3 - p_2 = \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_3^2)$$

Al reducirse la velocidad en la voluta, aumenta la presión proporcionada por la bomba.

### 3.2.3.4 Tipos de bombas

La experiencia práctica ha llevado a la existencia de distintos tipos de bombas diseñadas específicamente para aplicaciones concretas.

De hecho, la mayoría de fabricantes siguen esta clasificación.

En cuanto a aplicaciones para sistemas de aire acondicionado, calefacción y energía solar, las bombas generalmente empleadas, ordenadas de menor a mayor potencia son:

- **Bombas circuladoras**

Bombas centrífugas sencillas, muy silenciosas, diseñadas para la recirculación de agua fría o caliente en los sistemas de climatización y agua caliente sanitaria.

Se trata de bombas de rotor húmedo donde el propio líquido refrigera el motor.

- **Bombas compactas o monobloc**

Conjunto compacto con eje único motor-bomba, adecuados para bajas y medias potencias y funcionamiento en continuo.

Aplicaciones industriales para bombeo de aguas limpias y no agresivas: equipos de presión, aire acondicionado y calefacción, sistemas de riego y equipos contra incendios.

- **Bombas de bancada u horizontales**

Bombas de medias altas potencias donde la conexión al motor se realiza mediante poleas o mediante acoplamiento elástico que no precisa de alineamientos precisos. El acoplamiento indirecto mediante correas y poleas facilita la extracción del rodete. En el caso de acoplamiento directo debe instalarse un espaciador para permitir acceder al rodete sin mover el motor eléctrico.

Se emplean en industrias, riego, construcción, grandes instalaciones de calefacción y aire acondicionado, municipios, equipos contra-incendios, etc.

Habitualmente se emplea esta clasificación para las bombas empleadas en circuitos cerrados de recirculación:

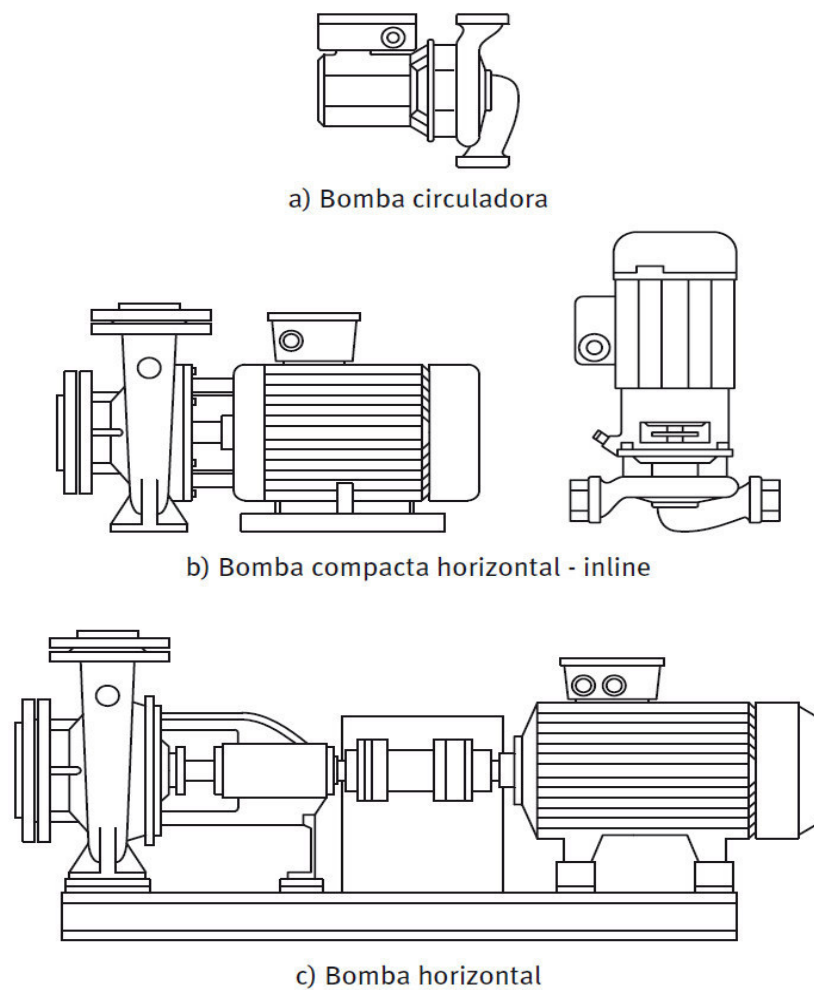
- **Bombas de rotor húmedo**

Se trata de las bombas circuladoras mencionadas anteriormente.

Características:

- ✓ Bajas potencias. Generalmente inferiores a 1 kW aunque hay modelos de hasta 3 kW.
- ✓ Bajas presiones. Generalmente inferiores a 15 m c.a.
- ✓ Silenciosas. El motor se refrigera con el fluido recirculado, no existiendo ventilador.
- ✓ Prácticamente sin mantenimiento.
- ✓ Deben montarse siempre con el eje en posición horizontal.

La figura 3.40 nos muestra los tipos de bombas empleadas en circuitos cerrados.



*Figura 3.40: Tipos de bombas empleadas en circuitos cerrados.*

*Fuente: Guía técnica Selección de equipos de transporte de fluidos, IDEA – 2012.*



- Bajo rendimiento. El rendimiento de estas bombas suele ser muy bajo. El rendimiento se puede mejorar en el caso de emplear motores de imán permanente.
  - Tres curvas características. Las bombas se suministran con tres velocidades de giro distintas siendo muy sencillo el cambio de velocidad y por tanto de curva característica.
  - Habitual en instalaciones de calefacción, agua caliente sanitaria y energía solar.
- 
- **Bombas de rotor seco**
- Se trata de las bombas monobloc, incline y horizontales mencionadas anteriormente.
- Características:
- ✓ Altas potencias. Disponibles en potencias entre 0,25 y 40 kW.
  - ✓ Ruidosas. El motor eléctrico y el ventilador producen ruido.
  - ✓ Mantenimiento del cierre mecánico (cambio cada 3-4 años).
  - ✓ Resistentes a las impurezas que contiene el líquido y a la formación de cal.
  - ✓ Alto rendimiento. Debe considerarse que el rendimiento se suele proporcionar respecto a la potencia en el eje. Para el rendimiento global deberá tenerse en consideración el rendimiento del motor eléctrico.
  - ✓ Habitual en instalaciones de climatización y grandes instalaciones de calefacción.

### 3.2.3.5 Curva característica de una bomba

Las prestaciones de una bomba centrífuga se pueden evidenciar gráficamente por medio de una curva característica que, normalmente, tiene datos relativos a la altura geodésica total, a la potencia efectiva del motor (BHP), a la eficiencia, al NPSH y al nivel positivo, informaciones indicadas en relación con la capacidad de la bomba.

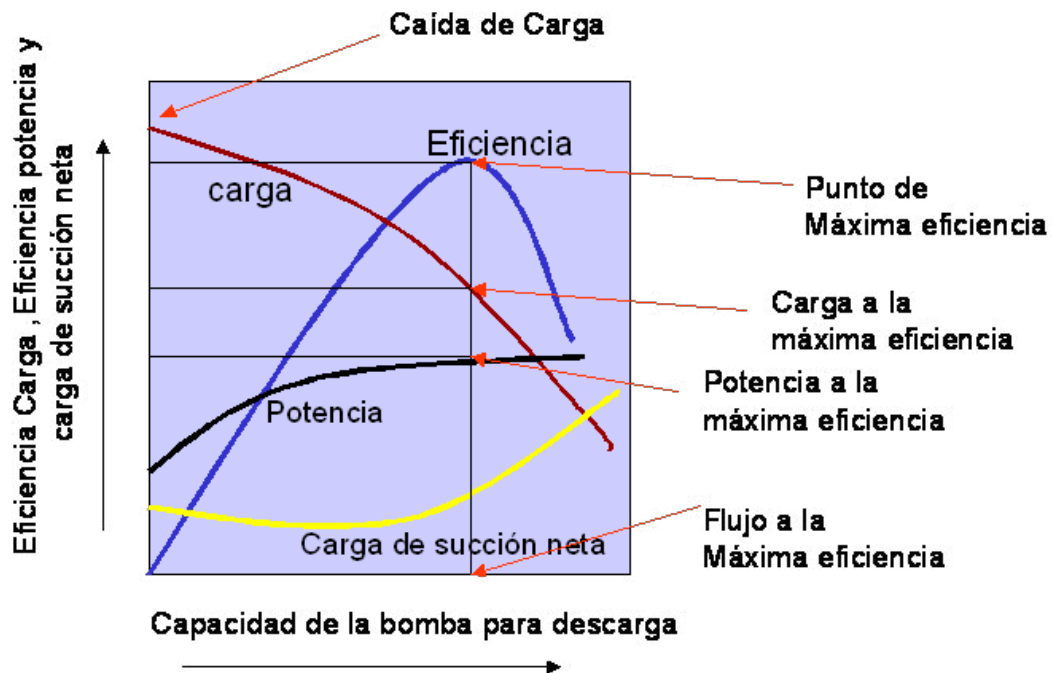


Figura 3.41: Curva característica de una bomba.

Fuente: Grupos de bombeo, Universidad de Sevilla – Sitio web.

Cada bomba centrífuga se caracteriza por su particular curva característica, que es la relación entre su caudal y su altura de elevación. Esta representación gráfica, o sea, la trasposición de esta relación en un gráfico cartesiano, es la mejor manera para conocer qué caudal se puede obtener a una determinada altura de elevación y viceversa.

En este caso específico, la curva consiste en una línea que parte de un punto (equivalente a cero caudal / máxima altura de elevación) y que llega hasta el final de la curva con la reducción de la altura de elevación aumentando el caudal. Está claro que, para modificar esta representación, contribuyen otros elementos como la velocidad, la potencia del motor o el diámetro del rodete. Hay que considerar, además, que las prestaciones de una bomba no se pueden conocer sin saber todos los detalles del sistema en el que tendrá que funcionar

La curva de prestaciones de cada bomba cambia en el momento que cambia la velocidad y se explica con las siguientes leyes:

1. La calidad del líquido trasladado cambia en relación con la velocidad
2. La altura de elevación varía en relación con el cuadrado de la velocidad
3. La potencia consumida varía en relación con el cubo de la velocidad

La cantidad de líquido bombeado y la potencia absorbida son, aproximadamente, proporcionales. La descarga de una bomba centrífuga con velocidad constante puede variar de cero caudal (todo cerrado o válvula cerrada), hasta un máximo que depende del proyecto y de las condiciones de trabajo. Por ejemplo, si se duplica la cantidad de fluido bombeado se duplica la velocidad y todas las demás condiciones permanecen iguales, mientras que la altura de elevación aumenta 4 veces y la potencia consumida 8 veces con respecto a las condiciones iniciales.

La potencia absorbida por la bomba puede localizarse en el punto donde la curva de la potencia se encuentra con la curva de la bomba en el punto de trabajo. Pero esto no indica todavía la medida requerida del motor.

Existen distintas maneras para determinar la potencia de los motores de alimentación de la bomba:

- Se puede elegir el motor adecuado a la velocidad de accionamiento o al margen de funcionamiento (el mejor método y el menos costoso cuando las condiciones de trabajo de la bomba no cambian tanto).
- Se puede leer la potencia al final de la curva (la solución más frecuente que garantiza una potencia adecuada en casi todas las condiciones de ejercicio).
- Se puede leer la potencia que corresponde al punto de trabajo sumando el 010% (sistema usado generalmente sólo en las refinerías o en otras aplicaciones donde no hay variaciones en las características de la instalación).
- Usando las curvas, todas las condiciones operativas pueden ser consideradas (el mejor método donde están presentes efectos sifones, grandes variaciones en altura geodésica, largas tuberías para llenar).

Las prestaciones de una bomba, y en especial de las bombas rotodinámicas, están ilustradas con una curva tal que evidencia perfectamente la relación entre el líquido en movimiento por unidad de tiempo y el aumento de la presión.

Pero las curvas referidas a las distintas categorías de bombas (figura 3.42) tienen características muy diferentes. Por ejemplo, las bombas volumétricas presentan un volumen de caudal independiente de la diferencia de presión (y la curva respectiva es, casi siempre, una línea vertical), mientras que las bombas centrífugas tienen una curva de prestación que, como ya hemos visto, aumentando la altura de elevación opone la disminución del caudal y viceversa. La curva de las bombas periféricas, en cambio, tienen una marcha que al medio de estas dos categorías de bombas. Una regla general para comprender las fuerzas desarrolladas por una bomba centrífuga es la siguiente: una bomba no crea presión sino que aporta sólo caudal. La presión es nada más que la medida de la resistencia del caudal.

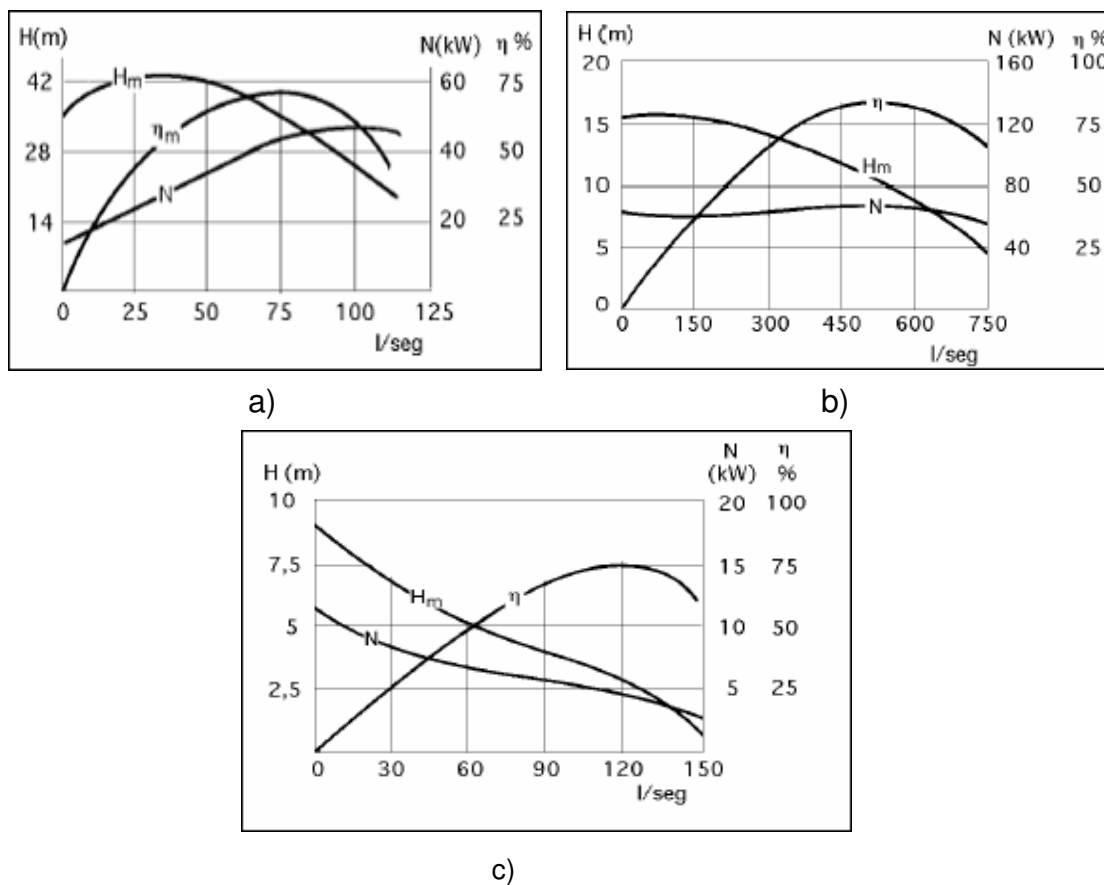
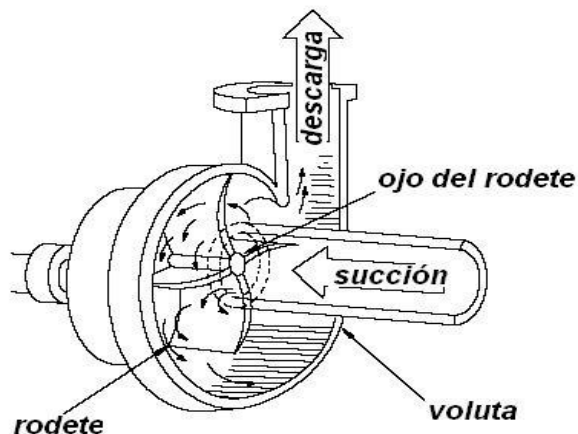


Figura 3.42: Curvas características de tres tipos de bombas hidráulicas. a) Bomba radial centrífuga; b) Bomba helicocentrífuga; c) Bomba de hélice

Fuente: Grupos de bombeo, Universidad de Sevilla – Sitio web.

### 3.2.4 Bomba centrífuga

Una bomba centrífuga (figura 3.43), es una máquina que consiste en un conjunto de paletas rotatorias encerradas dentro de una caja o cárter; o una cubierta o carcasa. Las paletas imparten energía al fluido por la fuerza centrífuga. Uno de los factores más importantes que contribuyen al creciente uso de bombas centrífugas ha sido el desarrollo universal de la fuerza eléctrica.



*Figura 3.43: Bomba centrífuga.*

*Fuente: Grupos de bombeo, Universidad de Sevilla – Sitio web.*

La característica principal de la bomba centrífuga es la de convertir la energía de una fuente de movimiento (el motor) primero en velocidad (o energía cinética) y después en energía de presión.

El rol de una bomba es el aporte de energía al líquido bombeado (energía transformada luego en caudal y altura de elevación), según las características constructivas de la bomba misma y en relación con las necesidades específicas de la instalación.

#### 3.2.4.1 Principio de funcionamiento de una bomba centrífuga

Toda bomba centrífuga, basa su funcionamiento en el aprovechamiento de la fuerza de un impulsor, que gira a cierta velocidad dentro de una carcasa y que su movimiento impulsa al fluido en contacto con él, hacia la periferia del mismo con cierta velocidad.

La energía de velocidad del fluido se convierte en presión por medio de una voluta interna o mediante un juego de álabes estacionarios llamados difusores, que rodean la periferia del impulsor.

#### **3.2.4.2 Clasificación de las bombas centrífugas**

De acuerdo a la trayectoria del fluido en el interior del impulsor.

##### **1) Bomba de flujo radial**

El movimiento del flujo se inicia en un plano paralelo al eje del giro del impulsor de la bomba y termina en un plano perpendicular a este. Estas bombas pueden ser verticales y horizontales.

##### **2) Bomba de flujo axial**

La dirección del fluido en el impulsor es en forma axial y alrededor del eje de giro del impulsor de la bomba, sin tener cambios de dirección.

Estas bombas desarrollan su carga por la acción de un impulsor o elevación de los álabes sobre el líquido y usualmente son bombas verticales de un solo paso.

##### **3) Bomba de flujo radio axial, o mixto**

El movimiento del fluido dentro del impulsor se desarrolla en tres direcciones, tangencial, radial y axial al eje de giro del impulsor de la bomba. Estas bombas desarrollan su carga parcialmente por fuerza centrífuga y parcialmente por el impulsor de los álabes sobre el líquido.

#### **3.2.4.3 Bomba centrífuga con eje de giro en posición vertical**

Las bombas con eje de giro en posición vertical tienen, casi siempre, el motor a un nivel superior al de la bomba, por lo que es posible, al contrario que en las horizontales, que la bomba trabaje rodeada por el líquido a bombear, estando, sin embargo, el motor por encima de éste.

Podemos diferenciar dentro de las bombas centrífugas de eje vertical, dos tipos:

##### **✓ Bombas verticales de funcionamiento en seco**

En las bombas verticales no sumergidas, el motor puede estar inmediatamente sobre la bomba, o muy por encima de ésta, figura 7.9. El elevarlo responde a la

necesidad de protegerlo de una posible inundación o para hacerlo más accesible si, por ejemplo, la bomba trabaja en un pozo.

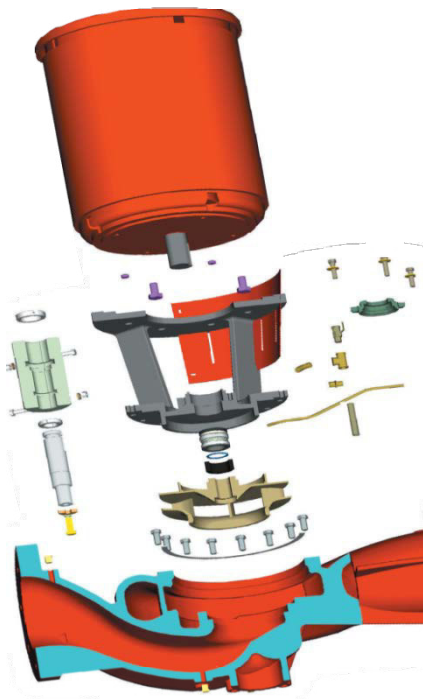
El eje alargado puede ser rígido o flexible por medio de juntas universales, lo que simplifica el siempre difícil problema del alineamiento. Se emplean muy a menudo las mismas bombas horizontales modificadas únicamente en sus cojinetes.

La aspiración es lateral, (horizontal); en las bombas grandes, frecuentemente, es por abajo, aunque a veces se transforma en lateral mediante un simple codo.

La ventaja de las bombas verticales (figura 3.44), es que requieren muy poco espacio horizontal que las hace insustituibles en barcos, pozos, etc.

Sin embargo se necesita un espacio vertical superior suficiente para permitir su cómodo montaje y desmontaje.

Para bombas de gran caudal, la construcción vertical resulta en general más barata que la horizontal. Las bombas verticales se emplean normalmente en aplicaciones marinas, para aguas sucias, drenajes, irrigación, circulación de condensadores, etc.



*Figura 3.44: Bomba centrífuga con eje de giro en posición vertical.*

*Fuente: Grupos de bombeo, Universidad de Sevilla – Sitio web.*

### 3.2.4.4 Fundamentos teóricos de Bombas

#### ✓ Bombeo de un fluido

Las bombas centrífugas para líquido funcionan por lo regular a una velocidad fija, proporcionando un aumento de la carga hidráulica ( $H$ ), que varía con el gasto ( $Q$ ) (Figura 3.45).

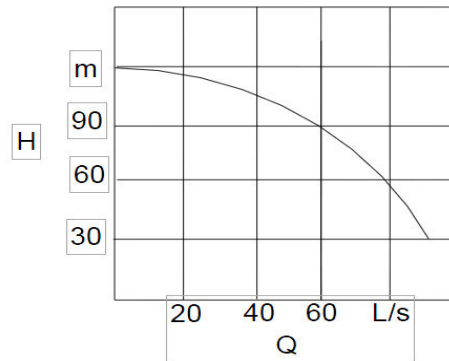


Figura 3.45: Carga hidráulica ( $H$ ) de la bomba representada en la curva.

Fuente: Grupos de bombeo, Universidad de Sevilla – Sitio web.

En el caso de un flujo que tiende a cero, como el que se experimentaría si la línea de descarga se cerrara, se tendría un aumento máximo de la carga hidráulica ( $\Delta H_{\text{máx}}$ ).

Al permitir que fluya una cantidad cada vez mayor por la bomba, el aumento de la carga hidráulica disminuirá hasta llegar a cero, con un gasto máximo ( $Q_m$ ).

La forma de la curva de ( $H$ ), contra ( $Q$ ), depende del diseño de la bomba, para diseños centrífugos es aproximadamente parabólica.

La potencia ideal entregada a la corriente del fluido que pasa a través de una bomba, es igual al producto ( $\rho g Q H = \delta Q H$ ) en tanto la potencia requerida para hacer girar la bomba es mayor que este producto por un factor de  $1/\eta_p$ , donde  $\eta$  es la eficiencia de la bomba.

En la gráfica (3.46)) se tiene el producto de ( $Q, H$ ); Se aprecia cómo se produce la máxima potencia cuando el aumento ( $H$ ), de la carga hidráulica y el gasto ( $Q$ ), son menores que sus valores máximos respectivos ( $Q_{\text{máx}}$ ,  $H_{\text{máx}}$ ).



El diseño de la bomba consiste en alcanzar la eficiencia máxima, cerca de la condición de máxima potencia del flujo. De ser posible una bomba debe funcionar a su máxima eficiencia.

La curva característica de una bomba, para la cual el aumento de la carga hidráulica ( $H$ ), disminuye conforme aumenta el gasto ( $Q_{\text{máx}}$ ), es el recíproco de la curva característica de un sistema de tubería para el cual la pérdida ( $h_f$ ) de la carga hidráulica aumenta con el incremento del gasto.

Cuando se suministra un fluido a un sistema de tubería, una bomba determinada sólo proporcionará el flujo para el cual el aumento de la carga hidráulica ( $H$ ), es igual a la pérdida de la carga hidráulica del sistema de tubería ( $h_f$ ). Este principio se ilustra en la Figura 3.46.

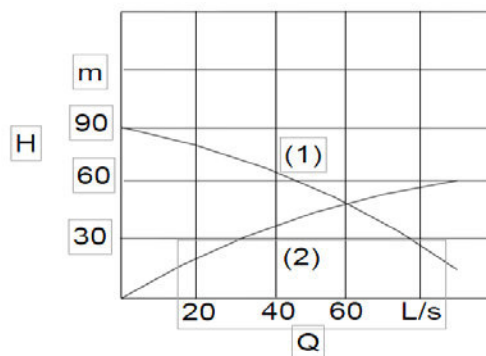


Figura 3.46: Curva característica de una bomba con aumento de carga hidráulica ( $H$ ).

Fuente: Grupos de bombeo, Universidad de Sevilla – Sitio web.

## ✓ Selección de bombas

### ✓ Elección de una bomba

Básicamente hay cinco pasos en la elección de una bomba, sea grande o pequeña, centrífuga, reciprocante o rotatoria.

- 1) Diagrama de la disposición de la bomba y tubería.
- 2) Determinación de la capacidad.
- 3) Carga dinámica total.
- 4) Condiciones del líquido.
- 5) Elección de la clase y el tipo.

Por conveniencia estos cinco pasos se resumen en tamaño, clase y compra.

✓ **Curvas del sistema de bombeo**

Las gráficas de las condiciones en un sistema de bombeo existente o propuesto, pueden ser auxiliares importantes en el análisis del sistema. El análisis gráfico puede adaptarse igualmente a bombas rotatorias y reciprocantes.

✓ **Uso de curvas**

Para seleccionar una curva apropiadamente para una aplicación dada, debe usarse por lo menos un punto de la curva del sistema de columna.

Para algunas aplicaciones, pueden usarse dos o más puntos para obtener la disposición más económica.

En la práctica, cada aplicación debe comprobarse para determinar la magnitud de las diversas pérdidas hidráulicas.

Una vez que se conoce la magnitud, puede tomarse una decisión en cuanto a que pérdidas pueden despreciarse en los cálculos de columna del sistema.

✓ **Elementos de la carga dinámica total**

**a. Carga en el sistema**

Por lo general la carga de una bomba no se altera por la clase de unidad elegida.

El estudio cuidadoso de la condición de carga y la localización de la bomba puede producir ahorros apreciables en potencia, por un periodo largo sin aumentar sustancialmente el costo inicial del proyecto.

**b. Carga de bombeo**

El cálculo de la carga total de bombeo consiste en determinar la energía requerida para impulsar el líquido desde el nivel de succión hasta el nivel de descarga, venciendo la resistencia que ofrecen la tubería y los accesorios al paso del fluido.

La presión que ejerce una columna (H) vertical de un líquido en cualquier punto debido a su peso, se le conoce como carga.

Una carga de líquido en un tubo vertical desarrolla una cierta presión ( $F/A$ ) sobre la superficie horizontal en el fondo del tubo.

El peso del líquido, que actúa sobre la superficie es lo que produce la presión.

La altura de la columna del líquido, que produce la presión en cuestión se conoce como carga sobre la superficie.

La altura de la carga de líquido se le conoce como carga estática, se expresa en unidades de longitud (metros, pies, etc.)

La carga correspondiente a una presión específica depende del peso específico del líquido de acuerdo a la siguiente expresión.

$$H = \frac{P}{\delta}$$

#### ✓ Balance energético en bombas

Una vez introducidas las bombas como sistemas mecánicos que transforman la energía mecánica procedente del motor eléctrico en energía del fluido.

El balance energético se realiza estableciendo la ecuación de conservación de la energía en un volumen de control formado por la máquina. Se hará la hipótesis de flujo estacionario e ideal, añadiendo los términos de pérdidas.

### 3.2.5 Caudal

En dinámica de fluidos, caudal es la cantidad de fluido que pasa en una unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. Menos frecuentemente, se identifica con el flujo másico o masa que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.

El caudal de un río puede calcularse a través de la siguiente fórmula:

$$Q = v.A$$

Dónde:

$Q$  = caudal ( $m^3/s$ ).

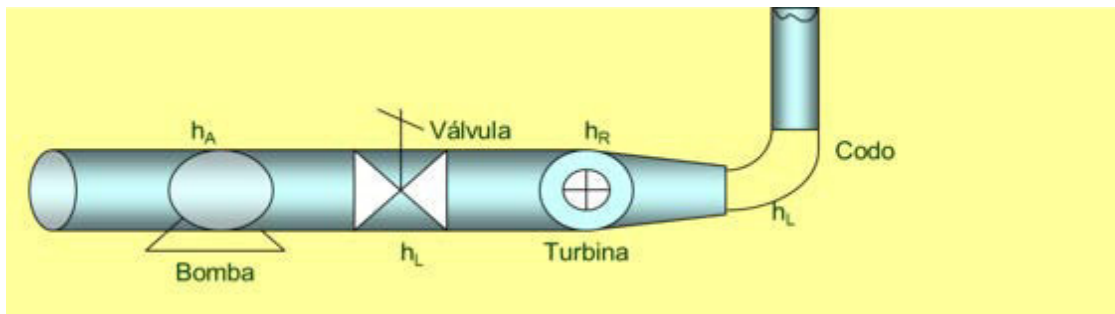
$v$  = velocidad ( $m/s$ ).

$A$  = área ( $m^2$ ).

### 3.2.6 Ecuación general de la energía

Resulta evidente que en presencia de esfuerzos viscosos, que corresponden esencialmente a una fuerza de roce actuando en el fluido, parte de la energía mecánica del flujo se disipa en forma de calor debido a los efectos de fricción. En este caso el Bernoulli, no se conserva en el campo del flujo, sino que disminuye a lo largo del descurrimiento por la disipación viscosa de esta energía.

- **Bomba:** dispositivo mecánico que agrega energía al fluido (la bomba aprovecha la energía cinética, que viene dado por un motor y aumenta la presión del fluido).
- **Motores de fluidos:** dispositivo mecánico que disminuye o quita energía a un fluido.
- **Fricción de fluidos:** resistencia que presenta un fluido en movimiento para poder fluir
- **Válvula y accesorios:** disminuyen la energía de un fluido, también se conoce como perdidas menores, o perdidas localizadas. el trabajo de una válvula es restringir el paso (las válvulas el caudal o flujo volumétrico).



**Accesorios:** dan dirección al flujo.

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Dónde:

$z$  = carga de elevación.

$\frac{v^2}{2g}$  = carga de velocidad.

$\frac{P}{\gamma}$  = carga de presión.

$h_A$  = energía que se le agrega al fluido mediante un equipo mecánico, como por ejemplo una bomba.

$h_R$  = energía que se le remueve al fluido mediante un equipo mecánico, como por ejemplo un motor.

$h_L$  = pérdidas de energía en el sistema por la fricción en las tuberías o pérdidas menores por válvulas y otros accesorios.

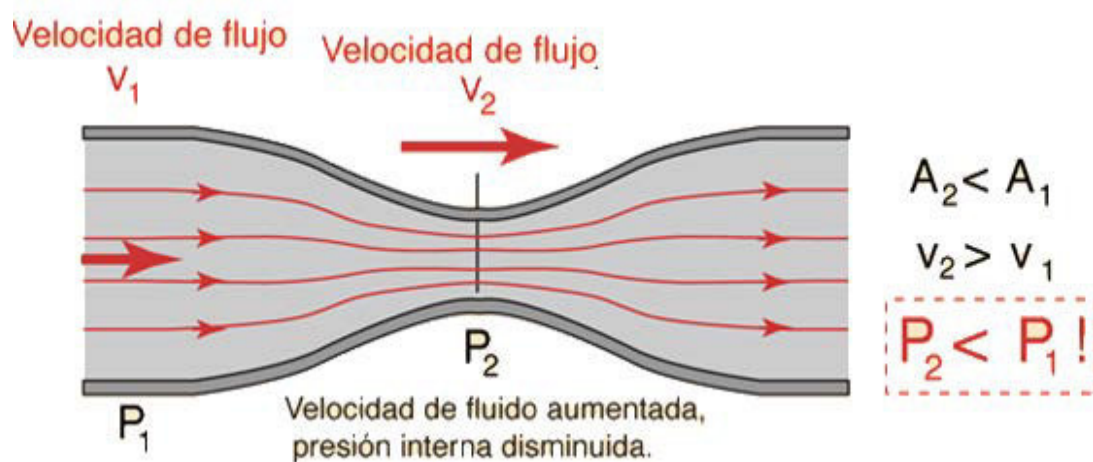
La ecuación general de la energía se hace cuantas veces sea necesario igual que la ecuación de Bernoulli evaluando solamente entre dos puntos

Con respecto a su efecto sobre un sistema de flujo, los dispositivos mecánicos, se pueden clasificar de acuerdo con la característica de si este entrega energía al fluido o si el fluido entrega energía al dispositivo.

Una bomba es un ejemplo común de un dispositivo mecánico que añade energía a un fluido. Un motor eléctrico o algún otro dispositivo principal de potencia hacen funcionar un eje de la bomba. Esta entonces toma su energía cinética y la entrega al fluido, lo cual trae como resultado un aumento en la presión de fluido y este empieza a fluir.

### 3.2.7 Ecuación de Bernoulli

La ecuación de Bernoulli, se puede considerar como una apropiada declaración del principio de conservación de la energía, para el flujo de fluidos. El comportamiento cualitativo que normalmente evocamos con el término “efecto de Bernoulli”, es el descenso de la presión del líquido en las regiones donde la velocidad el flujo es mayor. Este descenso de presión por un estrechamiento de una vida de flujo puede parecer contradictorio, pero no tanto cuando se considera la presión como una densidad de energía. En el flujo de alta velocidad a través de un estrechamiento, se debe incrementar la energía cinética, a expensas de la energía de presión.



Energía por unidad de volumen antes = Energía por unidad de volumen después.

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2$$

Dónde:

$P_1$  = Energía de presión.

$\frac{1}{2}\rho v_1^2$  = Energía cinética (unidad volumen).

$\rho gh_1$  = Energía potencial (unidad volumen).

#### ✓ Energía mecánica del flujo

La energía mecánica del flujo de un punto p se presenta de tres modos:

- Energía de presión:  $e_{pr} = p_p/\rho$
- Energía potencial:  $e_p = gZ_p$
- Energía cinética:  $e_c = v_p^2/2$

La energía mecánica específica del flujo en un punto p viene dado por:

$$\omega_{esp} = \frac{p_p}{\rho} + gz_p + \frac{v_p^2}{2} \quad [m^2/s^2]$$

La energía por unidad de tiempo (potencia) del flujo en un punto p viene dada por:

$$P_f = \dot{m}\omega_{esp} \quad [W]$$

Otra expresión de la energía mecánica empleada habitualmente es:

$$H_p = \frac{\omega_{esp}}{g} = \frac{p_p}{\rho g} + z_p + \frac{v_p^2}{2g} \quad [m \text{ c. a.}]$$

Donde  $H_p$  se denomina “altura del punto p” y está relacionada con la energía específica:  $gH_p = \omega_{esp}$ . La energía por unidad de tiempo (potencia) del flujo en un punto p viene dado por:

$$P_f = \rho g Q H_p \quad [W]$$

#### ✓ Flujo ideal en una instalación

La hipótesis de flujo ideal consiste en despreciar el efecto de la influencia de la viscosidad en el flujo. En el estudio de instalaciones hidráulicas se considera que el flujo es estacionario y uniforme en la pared, donde la trayectoria de una partícula de fluido coincide con la línea de corriente.

En un flujo ideal no existe rozamiento ni por tanto transformación de la energía mecánica del flujo en energía térmica. En caso del flujo en un tubo, la energía mecánica del flujo entre dos puntos se conserva, resultando:

$$H_f = \frac{p_1}{\rho g} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\rho g} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Se trata de una ecuación de conservación de la energía donde únicamente se producen intercambio de energía mecánica: la energía mecánica del flujo  $H_f$  se conserva. En el tránsito de una partícula de un punto 1 a un punto 2 de una línea de corriente, la energía asociada al fluido se transforma de una clase a otra, pero se mantiene constante.

### ✓ Flujo real en una instalación

En el flujo real se producen pérdidas, tanto por fricción del fluido como por los tubos o por pérdidas en accesorios. En ese caso, se sigue la formulación de flujo ideal, añadiendo un término de pérdidas. Aunque no aparece en la ecuación, cabe decir que las pérdidas producirán un incremento de la energía interna del fluido. Este calentamiento del fluido es muy reducido y no se suele tener en consideración.

$$H_{f1} = H_{f2} + H_L$$

$$\frac{p_1}{\rho g} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\rho g} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + H_L$$

Donde  $H_L$  son las pérdidas entre los puntos 1 y 2, dadas por la suma de las pérdidas en tuberías y pérdidas en accesorios:

$$H_L = H_{l,tub} + H_{L,acc}$$

#### 3.2.8 Ecuación de Darcy - Weisbach

A fines del siglo XIX, en experimentos realizados con tuberías de agua de diámetro constante, se demostró que la pérdida de carga es directamente proporcional al cuadrado de la velocidad media y longitud en la tubería, e inversamente proporcional al diámetro de la misma.

La ecuación de Darcy nos permite el cálculo de las pérdidas de carga debido a la fricción dentro de una tubería.

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Dónde:

$h_f$  = pérdida de carga debida a la fricción también conocido como  $h_L$ .

$f$  = factor de fricción de Darcy.

$L$  = longitud de la tubería.

$D$  = diámetro interno de la tubería.

$v$  = velocidad media del fluido.

$g$  = aceleración de la gravedad.



### ✓ Pérdidas en tuberías

Las pérdidas de presión en las tuberías (pérdidas primarias) se determinan mediante:

$$H_{l,tub} = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

Siendo  $f$  el factor de fricción de Darcy. Se trata de un número adimensional, cuya determinación es generalmente experimental. Para tuberías lisas se puede

$$f = 0.316 Re^{-0.25}$$

Para tuberías rugosas es habitual emplear la ecuación de White–Colebrook:

$$f = \left( -2 \log_{10} \left( \frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \right)^{-2}$$

Siendo,  $\varepsilon/D$  la rugosidad relativa de la pared del tubo y  $Re$  el número de Reynolds dado por:

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu}$$

Donde  $\rho$  es la densidad del fluido,  $v$  la velocidad del flujo,  $D$  el diámetro interior del tubo y  $\mu$  la viscosidad dinámica del fluido.

### ✓ Pérdidas en accesorios

Las pérdidas de presión en los accesorios se suelen determinar proporcionalmente a la energía cinética del flujo.

$$H_{L,acc} = k_0 \frac{v^2}{2g}$$

Donde,  $k_0$  Coeficiente de pérdidas de un accesorio.

En algunas ocasiones, las pérdidas por accesorio se expresan como una longitud equivalente de pérdidas en tubos. La ecuación de pérdidas en accesorios resultará:

$$H_{L,acc} = f \frac{L_{eq}}{D} \frac{v^2}{2g}$$

Donde la longitud equivalente de pérdidas en accesorios se determinará a partir de datos experimentales en forma de tablas, curvas o ábacos disponibles.

### 3.2.9 Advertencia sobre el flujo en estado estacionario

Si bien la ecuación de Bernoulli se afirma en términos de ideas universalmente válidas, como son la conservación de la energía y las ideas de presión, energía cinética y energía potencial, su aplicación en la fórmula de arriba se limita a los casos de flujo constante. Para el flujo a través de un tubo, tal flujo puede ser visualizado como un flujo laminar, que todavía es una idealización, pero si el flujo es una buena aproximación laminar, entonces puede ser modelada y calculada la energía cinética del flujo en cualquier punto del fluido. El término energía cinética por unidad de volumen en la ecuación, es el que requiere estrictas restricciones para que se pueda aplicar en la ecuación de Bernoulli - que básicamente es la suposición de que toda la energía cinética del fluido está contribuyendo directamente al proceso de avance del flujo del fluido -. Ello debería hacer evidente que la existencia de turbulencias o cualquier movimiento caótico del fluido implicaría que algo de la energía cinética no este contribuyendo al avance del fluido a través del tubo.

También hay que decir que, si bien la conservación de la energía se aplica siempre, esta forma de analizar la energía, no describe ciertamente cómo se distribuye esa energía bajo condiciones transitorias. Una buena visualización del efecto Bernoulli es el flujo a través de un estrechamiento, pero esa imagen "aseada" no describe el fluido cuando se inicia por primera vez.

Otra aproximación implicada en la declaración de la ecuación de Bernoulli anterior es prescindir de las pérdidas por fricción del fluido. El flujo laminar idealizado a través de una tubería puede ser modelado por la Ley de Poiseuille, que sí incluye las pérdidas viscosas, cuyo resultado es una disminución de la presión a medida que avanza a lo largo de la tubería. La declaración de la ecuación de Bernoulli anterior llevaría a la expectativa de que la presión una vez pasado el estrechamiento volvería al valor  $P_1$ , ya que el radio vuelve a su valor original. Y este no es el caso debido a la pérdida de algo de energía en el proceso de flujo activo, por la fricción en el movimiento molecular desordenado (energía térmica). Se puede hacer un modelado más preciso mediante la combinación de la ecuación de Bernoulli con la ley de

Poiseuille. Un ejemplo real que podría ayudar a visualizar el proceso es el control de la presión del flujo a través de un tubo estrechado.

- **Cavitación**

Fenómeno causado por una inestabilidad en el flujo de la corriente. La cavitación se manifiesta con la formación de cavidad en el líquido bombeado y está acompañada por vibraciones ruidosas, reducción del caudal y, en menor medida, del rendimiento de la bomba. Se provoca por el pasaje rápido de pequeñas burbujas de vapor a través de la bomba: su colapso genera micro chorros que pueden causar graves daños.

- **Viscosidad**

Se trata de una característica del fluido bombeado: representa su capacidad de oponerse al desplazamiento. La viscosidad varía según la temperatura.

- **Peso específico**

Cada fluido tiene una densidad característica.

El agua, que se usa como término de comparación, convencionalmente tiene un peso específico (o densidad) de 1 (a 4°C y a nivel del mar). El peso específico representa el valor usado para comparar el peso de un cierto volumen de líquido con el peso de la misma cantidad de agua.

## CAPITULO IV - ÁREA DE ESTUDIO Y METODOLOGIA

### 4.1 Área de estudio

Los sistemas de agua helada son utilizados en aplicaciones de climatización donde se requiere la eliminación de calor de un determinado espacio. Estos sistemas trabajando en conjunto con equipos de tratamiento del aire o equipos de procesos, tales como “Fan coil” (FC); por los cuales pasa el agua a través de serpentines. Estos equipos transfieren el calor al agua que circula por el serpentín; esta agua es llevada hasta las unidades enfriadoras por medio de tuberías. Las unidades enfriadoras de agua (chiller); que no son más que máquinas de refrigeración integradas, transfieren internamente el calor desde la evaporadora hasta la condensadora, donde el calor es descargado a la atmósfera a través del sistema de condensación. El agua refrigerada que sale de la evaporadora es llevada nuevamente hasta los equipos FC donde se repite el proceso de eliminación del calor. En la figura 3.47 se muestra un diagrama del proceso de refrigeración:

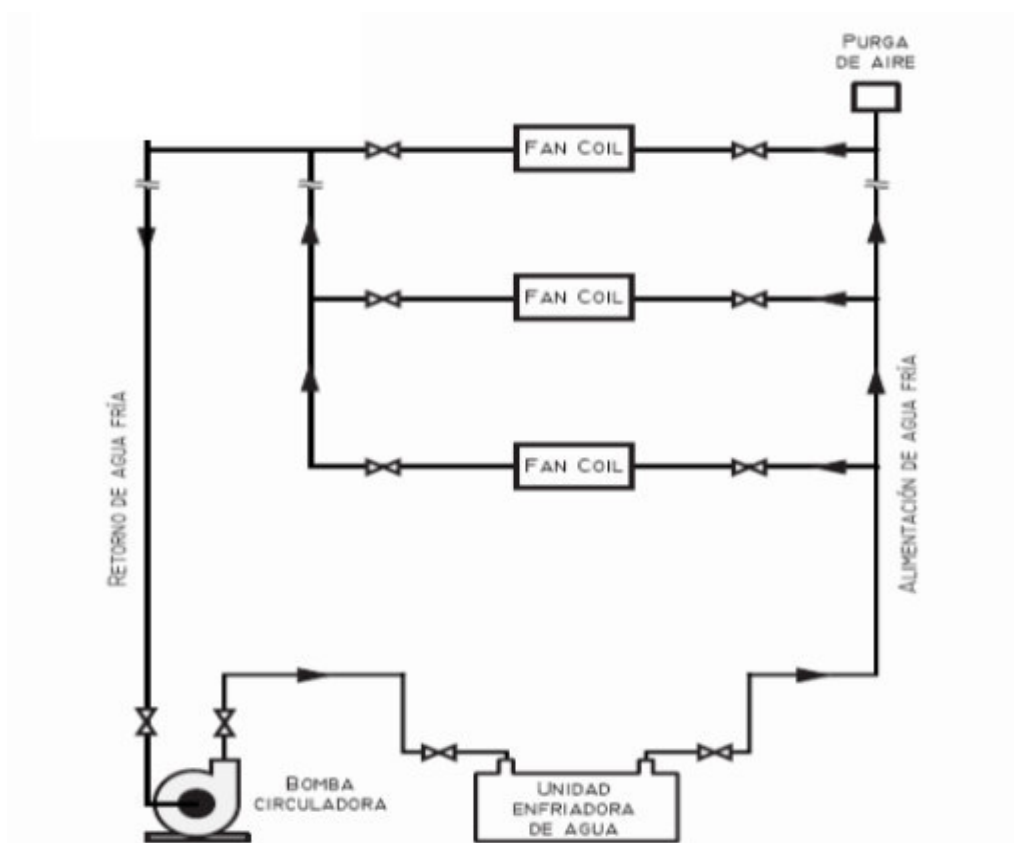


Figura 3.47: Esquemización del proceso de funcionamiento de un Sistema de Agua Helada.

Fuente: Manual de Aire Acondicionado, Carrier – Ed. Marcombo.

Por las características arquitectónicas, estructurales y operaciones del Centro Comercial Larcomar, consta de un Sistema de Agua Helada como sistema principal de aire acondicionado para todo el centro comercial.

La planta de agua helada del Centro Comercial Larcomar está compuesto por:

- Dos unidades enfriadoras de agua (Chiller 1 y Chiller 2).
- Dos torres de enfriamiento (torre 1 y torre 2).
- Tres bombas primarias de agua helada (BPAH-1, BPAH-2 y BPAH-3).
- Dos bombas secundarias de agua helada (BSAH-2 y BSAH2).
- Tres bombas de agua de condensado (BAC-1, BAC-2 y BAC-3).

La planta de agua helada contempla la utilización de un sistema de bombeo Primario-Secundario el cual garantiza una circulación de caudal constante a través de las unidades enfriadoras, ya que las bombas principales son de velocidad constante y trabajan directamente con los chillers.

Igualmente, las bombas secundarias, por ser de velocidad variable (trabajan con variador de velocidad), se ajustan a las necesidades de carga de los equipos.

Para el desarrollo de la presente monografía se elaboró un estudio técnico el cual paso a detallar.

La planta de agua helada consta de:

- ✓ Dos chillers de la marca Carrier (figura 3.48), de 350 TON de refrigeración, con una antigüedad aproximada de 15 años en constante funcionamiento, el cual está en pésimas condiciones, por lo que se presentan demasiadas inconvenientes al momento de su funcionamiento y es por eso que se le realizan demasiados trabajos de mantenimiento además de tener componentes muy desgastados; el evaporador y el condensador con demasiada oxidación, sensores de temperatura en mal estado, parte eléctrica

en mal estado, etc. Todos estos componentes en mal estado ocasionan que el chiller no funcione óptimamente.



*Figura 3.48: Chiller de la antigua planta de agua helada del Centro Comercial Larcomar.*

- ✓ Tres bombas primarias de agua helada, dos bombas secundarias de agua helada y tres bombas de agua de condensado,; todas estas bombas son centrífugas horizontales, por ser demasiadas antiguas y estar operativas todo el día sufren constantemente la rotura del acoplamiento flexible (unión bomba – motor), filtros totalmente gastados, tubería para manómetros rotos, válvulas seccionadoras inoperativas (figura 3.49), etc.



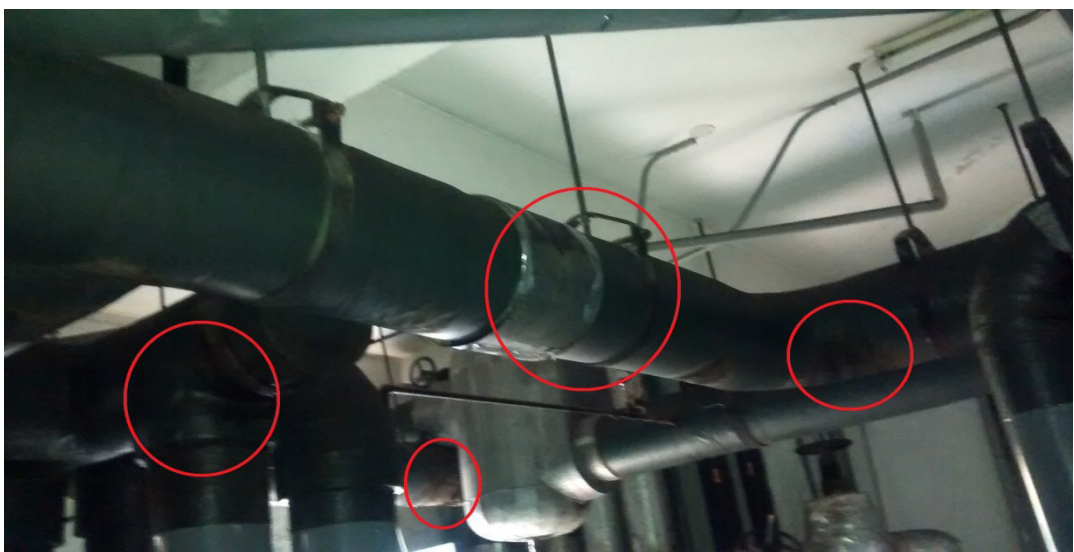
*Figura 3.49: Bomba secundaria – en donde se observa válvulas seccionadoras inoperativas - de la antigua planta de agua helada del Centro Comercial Larcomar.*

- ✓ Dos torres de enfriamiento, los motores de dichas torres por estar expuestas a la intemperie están con la alimentación eléctrica en mal estado, el ventilador con aspas rotas, partes de la torre de enfriamiento rotas y en mal estado (resina con fibra de vidrio - figura 3.50), lo cual produce demasiada fuga de agua y por tal considerables pérdidas económicas.



*Figura 3.50: Torres de enfriamiento - en mal estado - de la antigua planta de agua helada del Centro Comercial Larcomar.*

- ✓ Las tuberías de agua helada (figura 3.51) se encuentran en condiciones críticas, por el tiempo de antigüedad presentan constantes fugas de agua helada por condensación y también por el mal estado del aislamiento térmico (espuma de poliuretano) provocando así pérdidas energéticas.



*Figura 3.51: Tuberías de agua helada - donde se nota el deterioro del aislamiento térmico - de la antigua planta de agua helada del Centro Comercial Larcomar.*



- ✓ El sistema de tuberías de agua de condensado se encuentra en muy mal estado (figura 3.52), con demasiada corrosión (figura 3.53) lo que está provocando fisuras en dichas tuberías y por ende demasiada pérdida de agua innecesariamente.



*Figura 3.52: Tuberías del sistema de agua de condensado – en muy mal estado - de la antigua planta de agua helada del Centro Comercial Larcomar.*



*Figura 3.53: Tuberías del sistema de agua de condensado – con demasiada corrosión - de la antigua planta de agua helada del Centro Comercial Larcomar.*



## **4.2 Materiales**

### **Búsqueda del material con información relacionada al sistema hidráulico existente en el Centro Comercial Larcomar**

Luego de haberse familiarizado con el entorno y con el objetivo propuesto, la búsqueda de la información del sistema hidráulico a estudiar fue el primer paso que se realizó. Para la presente monografía se utilizó la información técnica relacionada al equipamiento de la planta de agua helada del Centro Comercial Larcomar, en el que contenía el plano de isometría del sistema de condensado. Dicho plano fue la herramienta base para la realización de todo el trabajo de investigación dado que, éste describía lo mejor posible como estaba compuesto todo el sistema de condensado de la planta de agua helada.

### **Visita a las instalaciones para realizar el reconocimiento de los equipos instalados y entender su funcionamiento**

Después de tener la problemática clara y la información necesaria para entender el presente trabajo de investigación se procedió a la visita de las instalaciones del centro comercial Larcomar ubicados en el distrito de Miraflores. Una vez ahí se pudo entrar a la planta de agua helada para poder ver las instalaciones de los equipos e ir teniendo una imagen visual del sistema.

### 4.3 Metodología

Para facilitar el entendimiento del sistema de tuberías de agua de condensado se procedió a la realización de un diagrama del recorrido de todo el sistema de condensación.

Luego de realizar dicho diagrama se continuó con el desglose de todo el sistema de tuberías registrándolo en tablas para los diferentes diámetros con los que cuenta el sistema de tuberías de agua de condensado. Esto se hizo con el programa Excel debido a su forma práctica y sencilla de trabajar con tablas y cálculos para así tener un registro total de toda la información necesaria para calcular las pérdidas del sistema (área de tubería, caudal, velocidad, factor de fricción, diámetro interno y todos los accesorios).

De esta manera mostrar de una manera sencilla y práctica el entendimiento del desarrollo de la presente monografía.

#### ✓ Calcular las pérdidas totales de todo el sistema de tuberías de agua helada

En esta fase del desarrollo de la monografía se procedió a realizar los cálculos de las pérdidas en todo el sistema de tuberías, teniendo ya un esquema bastante concreto del mismo y todos los datos necesarios registrados en la tabla de Excel en orden y secuencia.

Luego de este paso, se comenzó a estudiar con más detalle el recorrido de la tubería, la teoría de hidráulica y dinámica de fluidos y se obtuvo un dato fundamental para el cálculo de las pérdidas del sistema, el cual es que el sistema hidráulico de tuberías de agua de condensado es un sistema cerrado por lo tanto las cargas de altura son iguales y se cancelan, entonces al aplicar la ecuación general de la energía:

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_T = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Queda:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_T = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g}$$

Entonces, despejando:

$$h_A = h_L + \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}$$

Después de haber simplificado la ecuación de energía y despejando  $h_A$  que significa la energía que se le agrega al fluido mediante un equipo mecánico (en este caso una bomba) se siguió con el estudio de las tuberías y se obtuvo que el sistema tiene una línea de descarga y otra línea de retorno, por lo tanto, al comparar las mismas secciones eran iguales. Debido a esta excelente observación se puede decir que las velocidades de ida y de retorno para las tuberías del mismo diámetro son iguales, lo que transformaría y simplificaría la ecuación de energía a:

$$h_A = h_L + \frac{P_2 - P_1}{\gamma}$$

Por lo tanto, las pérdidas para este sistema serán solo pérdidas por rozamiento en la longitud del mismo y sus respectivos accesorios. Seguidamente se procedió a dirigirse a la tabla de Excel donde estaban registrados todos los datos anteriormente mencionados y se procedió a calcular principalmente las pérdidas por longitud y pérdidas menores (accesorios) del sistema para la línea de descarga, utilizando las siguientes fórmulas:

- ✓ Para pérdidas por longitud de tubería:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

- ✓ Para pérdidas por accesorios de tubería:

$$H_{L,acc} = k_0 \frac{v^2}{2g}$$

Donde,  $k_0$  Coeficiente de pérdidas de un accesorio.

Al sumar ambas pérdidas se obtuvo la  $h_L$  total a la descarga del sistema. Luego se procedió a multiplicar el resultado obtenido por dos para obtener las

pérdidas totales del sistema hidráulico de tubería de agua de condensado dado que, la línea de retorno cuenta con los mismos diámetros de la línea de descarga y por lo tanto las pérdidas en ambas líneas son muy similares.

Seguidamente se procedió al cálculo final para obtener la altura total que debe de vencer la bomba a seleccionar para todo el sistema de tubería de agua de condensado mediante el despeje de la fórmula de energía antes descrita como:

$$h_A = h_L + \frac{P_2 - P_1}{\gamma}$$

Por último, se realizó el cálculo de la potencia de la bomba mediante la siguiente fórmula:

$$P = \frac{h_A \cdot \gamma \cdot Q}{e_M}$$

Donde  $e_M$  es la eficiencia de la bomba y se obtuvo por gráfica con la  $h_A$  y el  $Q$  del sistema en  $m^3/h$ .

**Tabla N° 1**

SERVICIO O APLICACIÓN	VELOCIDAD (m/s)
Descarga de la bomba	2,4-3,6
Aspiración de la bomba	1,2-2,1
Línea o tubería de desagüe	1,2-2,1
Colector o tubería principal	1,2-4,5
Montante o tubo ascendente	1-3
Servicio general	1,5-3
Suministro de agua de ciudad	1-2,1

*Figura 3.47: Velocidades de flujo recomendadas para sistemas de fluidos de potencia.*

*Fuente: Manual de Aire Acondicionado, Carrier – Ed. Marcombo.*

Tabla N° 2

Tamaño nominal de la tubería (pulg)	Factor de fricción $f_T$	Tamaño nominal de la tubería (pulg)	Factor de fricción $f_T$
1/2	0.027	3 1/2, 4	0.017
3/4	0.025	5	0.016
1	0.023	6	0.015
1 1/4	0.022	8-10	0.014
1 1/2	0.021	12-16	0.013
2	0.019	18-24	0.012
2 1/2, 3	0.018		

Figura 3.47: Factor de fricción para tubería de acero comercial.

Fuente: Manual de Aire Acondicionado, Carrier – Ed. Marcombo.

Tabla N° 3

Tamaño nom. de tubería (pulg)	Diámetro exterior		Espesor de pared		Diámetro interior			Flujo de área	
	(pulg)	(mm)	(pulg)	(mm)	(pulg)	(pies)	(mm)	(pies <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )
1/8	0.405	10.3	0.068	1.73	0.269	0.0224	6.8	0.000 394	$3.660 \times 10^{-5}$
1/4	0.540	13.7	0.088	2.24	0.364	0.0303	9.2	0.000 723	$6.717 \times 10^{-5}$
3/8	0.675	17.1	0.091	2.31	0.493	0.0411	12.5	0.001 33	$1.236 \times 10^{-4}$
1/2	0.840	21.3	0.109	2.77	0.622	0.0518	15.8	0.002 11	$1.960 \times 10^{-4}$
3/4	1.050	26.7	0.113	2.87	0.824	0.0687	20.9	0.003 70	$3.437 \times 10^{-4}$
1	1.315	33.4	0.133	3.38	1.049	0.0874	26.6	0.006 00	$5.574 \times 10^{-4}$
1 1/4	1.660	42.2	0.140	3.56	1.380	0.1150	35.1	0.010 39	$9.653 \times 10^{-4}$
1 1/2	1.900	48.3	0.145	3.68	1.610	0.1342	40.9	0.014 14	$1.314 \times 10^{-3}$
2	2.375	60.3	0.154	3.91	2.067	0.1723	52.5	0.023 33	$2.168 \times 10^{-3}$
2 1/2	2.875	73.0	0.203	5.16	2.469	0.2058	62.7	0.033 26	$3.090 \times 10^{-3}$
3	3.500	88.9	0.216	5.49	3.068	0.2557	77.9	0.051 32	$4.768 \times 10^{-3}$
3 1/2	4.000	101.6	0.226	5.74	3.548	0.2957	90.1	0.068 68	$6.381 \times 10^{-3}$
4	4.500	114.3	0.237	6.02	4.026	0.3355	102.3	0.088 40	$8.213 \times 10^{-3}$
5	5.563	141.3	0.258	6.55	5.047	0.4206	128.2	0.139 0	$1.291 \times 10^{-2}$
6	6.625	168.3	0.280	7.11	6.065	0.5054	154.1	0.200 6	$1.864 \times 10^{-2}$
8	8.625	219.1	0.322	8.18	7.981	0.6651	202.7	0.347 2	$3.226 \times 10^{-2}$
10	10.750	273.1	0.365	9.27	10.020	0.8350	254.5	0.547 9	$5.090 \times 10^{-2}$
12	12.750	323.9	0.406	10.31	11.938	0.9948	303.2	0.777 1	$7.219 \times 10^{-2}$
14	14.000	355.6	0.437	11.10	13.126	1.094	333.4	0.939 6	$8.729 \times 10^{-2}$
16	16.000	406.4	0.500	12.70	15.000	1.250	381.0	1.227	0.1140
18	18.000	457.2	0.562	14.27	16.876	1.406	428.7	1.553	0.1443
20	20.000	508.0	0.593	15.06	18.814	1.568	477.9	1.931	0.1794
24	24.000	609.6	0.687	17.45	22.626	1.886	574.7	2.792	0.2594

Figura 3.47: Dimensiones de tuberías de acero cédula 40.

Fuente: Manual de Aire Acondicionado, Carrier – Ed. Marcombo.

Gráfico N° 1

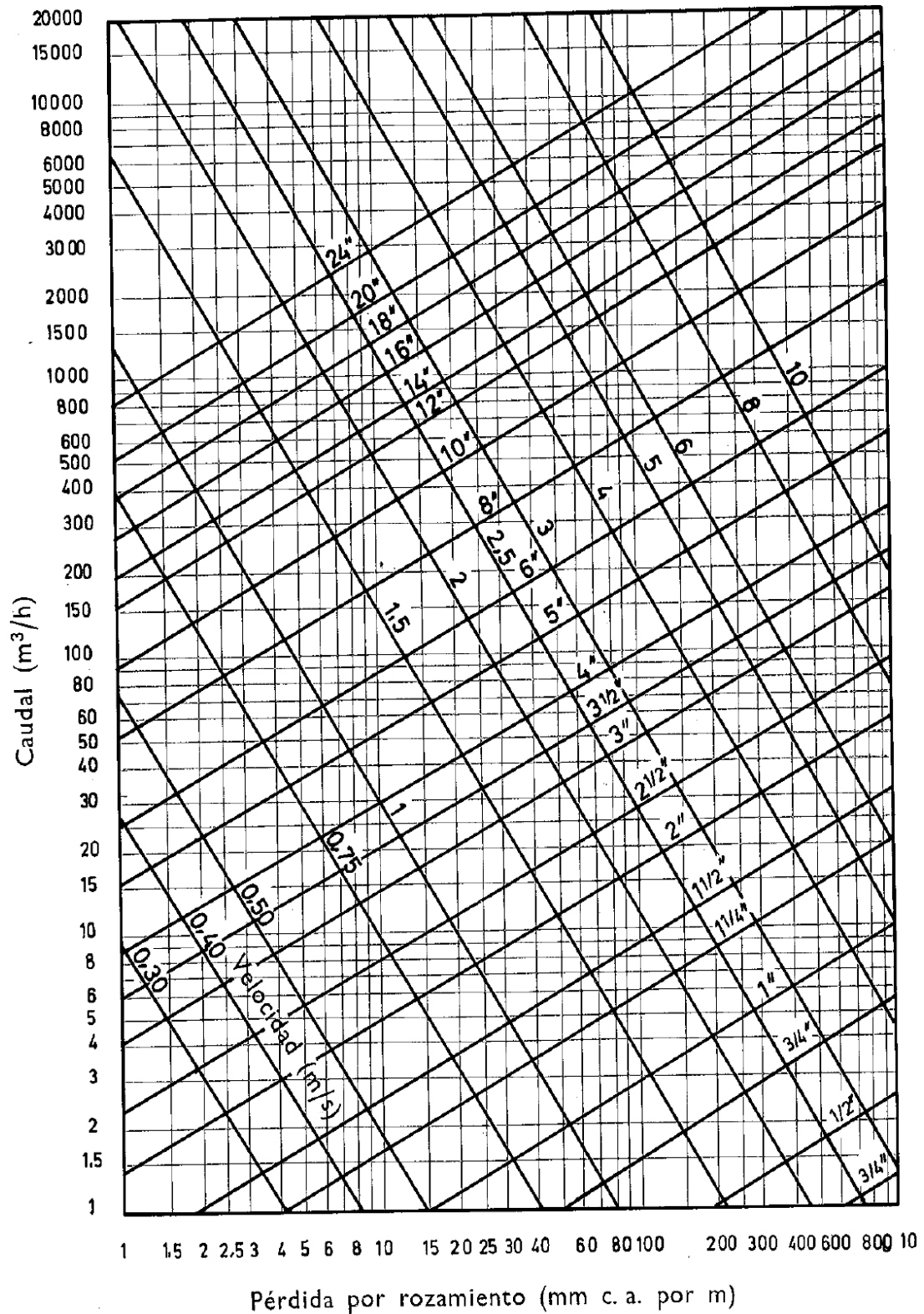


Figura 3.47: Pérdidas por rozamiento en los sistemas de tuberías de acero.

Fuente: Manual de Aire Acondicionado, Carrier – Ed. Marcombo.

## CAPITULO V – CÁLCULOS Y RESULTADOS

### 5.1 Cálculo de bombas

Al realizar todos los cálculos del sistema y tener ya todos los datos necesarios se procedió a la selección de las bombas.

Para seleccionar un equipo de bombas que garantice que puede satisfacer las demandas de caudal y que tiene un TDH (diferencia de presiones entre la descarga y la aspiración) superior a la suma de la diferencia de cotas entre el nivel más bajo de todo el circuito de refrigeración y la balsa de las torres de refrigeración, y la suma de las pérdidas de carga continuas y locales que se producen en la tubería de impulsión.

En la presente monografía se seleccionará un tipo de bomba centrífugo vertical netamente por el poco espacio disponible en la planta de agua helada del Centro Comercial Larcomar.

#### ✓ **Seleccionar las bombas correspondientes al sistema**

Al realizar todos los cálculos del sistema y tener ya todos los datos necesarios se procedió a la selección de las bombas mediante la curvas características de la bomba teniendo como datos:  $h_A$  y el  $Q$ .

Luego de seleccionar la bomba mediante la gráfica de curva característica de la bomba, donde se encontró la eficiencia y la potencia en hp de la bomba mediante los cálculos de potencia antes realizados. Cumpliendo, de este modo, con el objetivo general del proyecto estudiado.

## 5.2 Resultados obtenidos

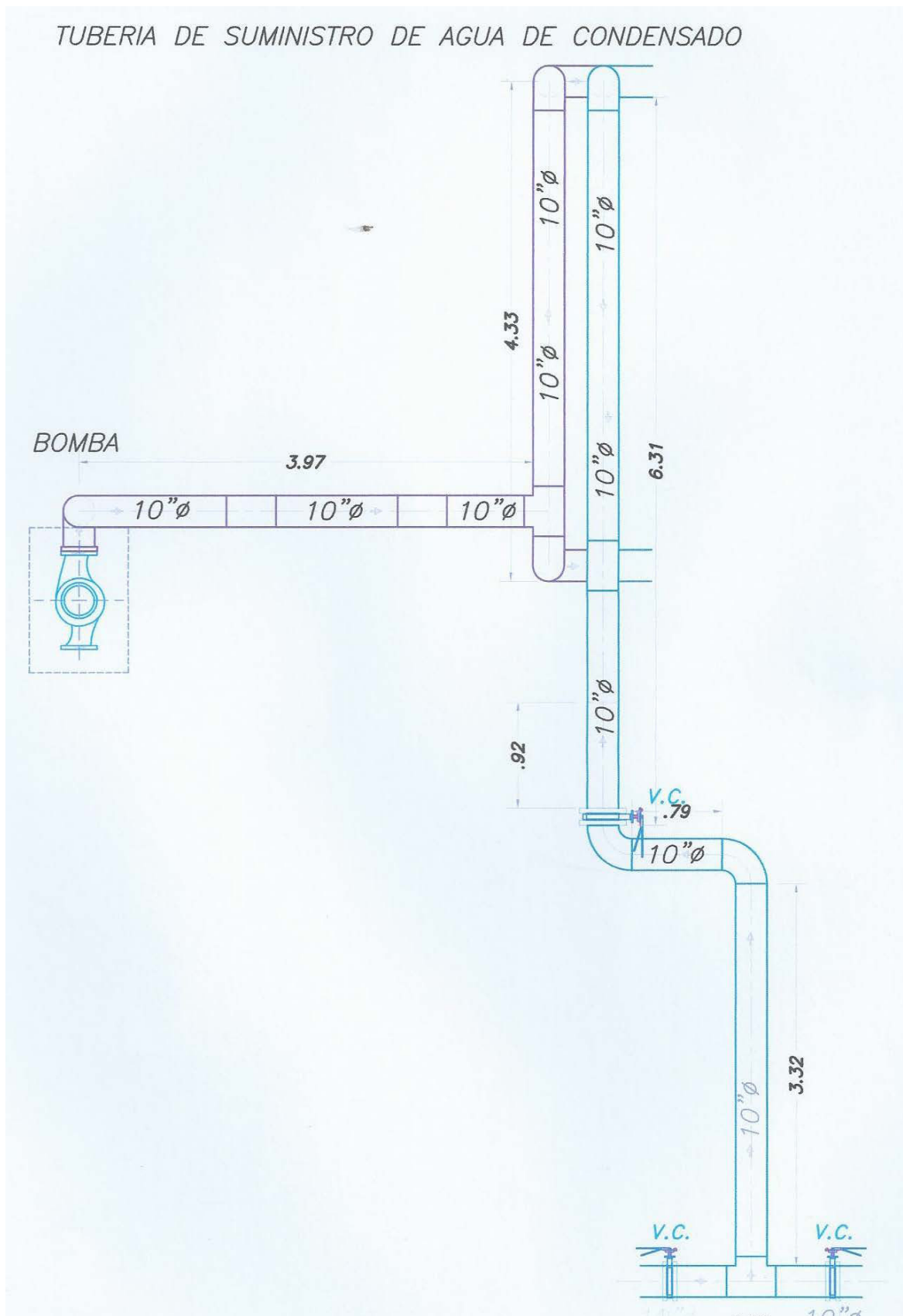


Gráfico N°2: Diagrama general de la tubería de suministro de agua de condensado.



## TUBERIA DE RETORNO DE AGUA DE CONDENSADO

BOMBA

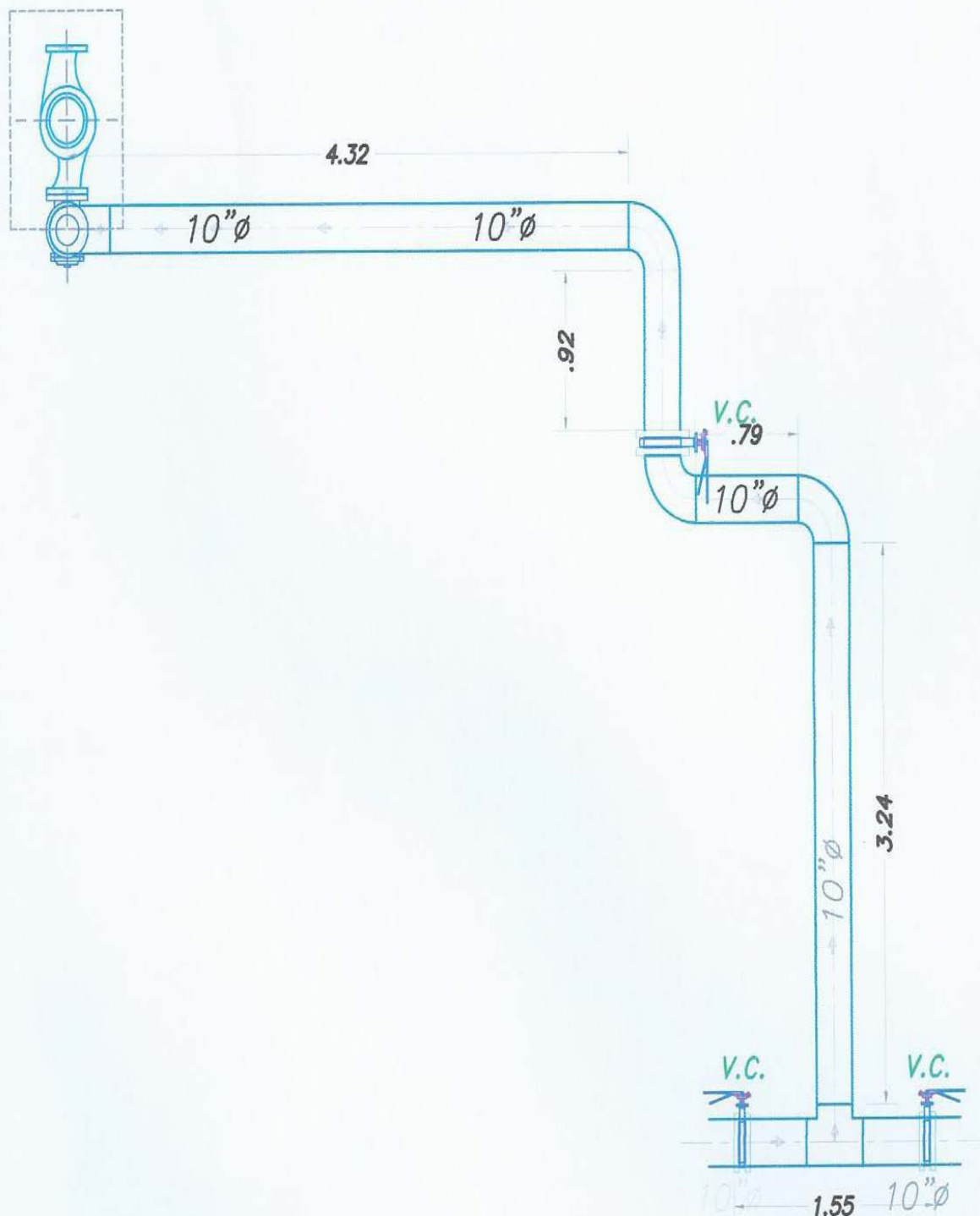


Gráfico N°3: Diagrama general de la tubería de retorno de agua de condensado.

Tabla N° 4. Cuadro de datos de tubería y accesorios más el cálculo de pérdidas totales.

Diámetro nominal	Diámetro interno	Área del tubo	Caudal	Velocidad	factor de fricción	L	Codo	Pérdidas
pulg.	m	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s	m/s	ft	m		hf
<b>Linea 1 suministro</b>								
<b>10"</b>	0.2027	0.03227	0.076	2.3551	0.014	30	8	0.5858
<b>Linea 2 retorno</b>								
<b>10"</b>	0.2027	0.03227	0.076	2.3551	0.014	12.6	4	0.2460
								<b>0.8318</b>

Tabla N° 5. Presiones del sistema

<b>P1</b>	1	psig
<b>P2</b>	15	Psig
<b>Ptotal</b>	14	Psig
<b>Ptotal</b>	96527	Pa

El resultado del cálculo de la energía que se le agrega al fluido mediante la bomba (altura que el equipo mecánico debe vencer) fue:

$$h_A = h_L + \frac{P_2 - P_1}{\gamma}$$

$$h_A = 0.8318 \text{ m} + \frac{96527 \text{ Pa}}{9810 \text{ N/m}^3} = 10.97 \text{ m}$$

El resultado del cálculo de potencia de la bomba fue el siguiente:

$$P = \frac{h_A \cdot \gamma \cdot Q}{e_M}$$

$$P = \frac{10.97 \text{ m} * 9810 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} * 0.0909 \text{ m}^3/\text{s}}{0.65}$$

$$P = 15.049 \text{ kW} \rightarrow P = 20.18 \text{ HP} \rightarrow P = 20 \text{ HP}$$

Para ubicar la bomba en el campo de aplicación fue necesario tener los siguientes datos:

$$Q = 1200 \text{ Gpm} \rightarrow Q = 0.0909 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow Q = 327.319 \text{ m}^3/\text{h} \text{ y } h_A = 10.97\text{m}$$

Por último, se seleccionó la bomba las bombas Bell & Gossett / 6x6x91/2 – Series 80 – SC y se ubicó en su respectiva gráfica la Potencia en hp mediante la potencia 15.049 kW obtenida.

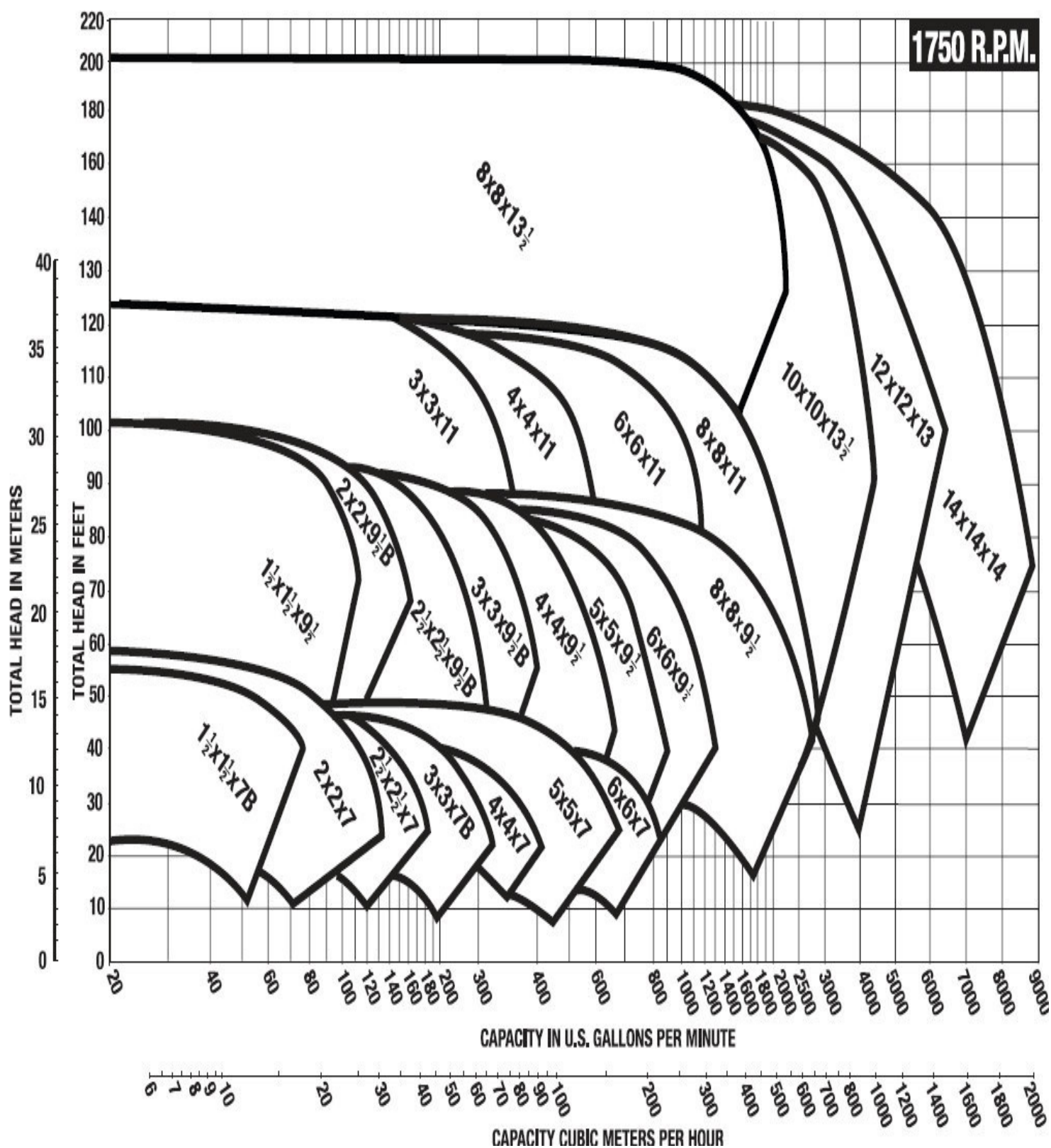



Gráfico N°4: Curvas características de las bombas Bell & Gosset.

Fuente: Manual de selección de bombas Bell & Gosset.

# PERFORMANCE CHARACTERISTIC CURVE

CENTRIFUGAL PUMP SERIES 80

Approved  Date 4-21-78

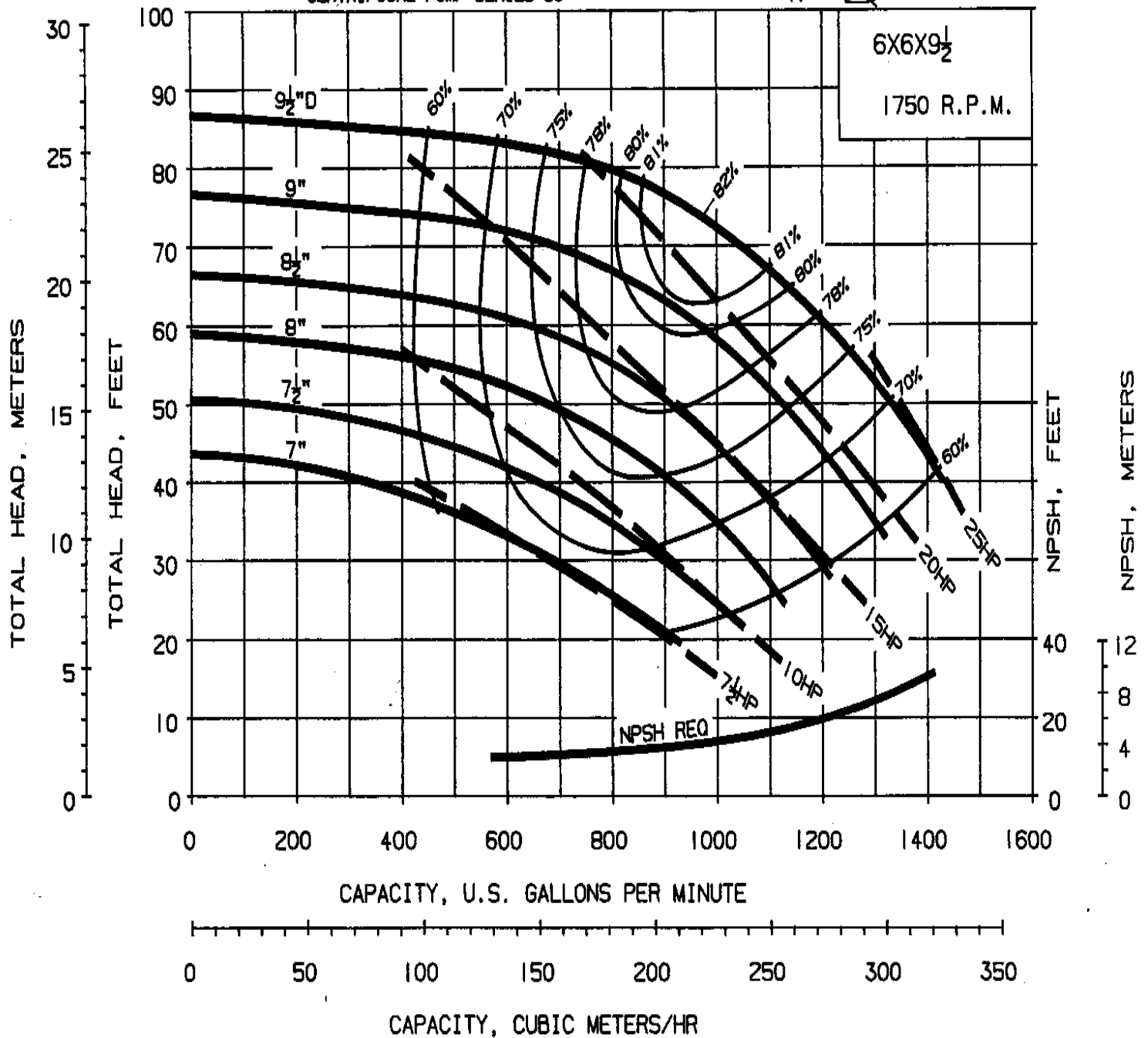


Gráfico N°5: Curvas características de las bombas Bell & Gosset 6x6x9 1/2.

Fuente: Manual de selección de bombas Bell & Gosset.

### 5.3 Reducción de costos de operación y mantenimiento

- **Reducción de costos de operación**

En lo que corresponde a la reducción de costos de operación de la planta de agua helada del Centro Comercial Larcomar, nos basamos netamente en una reducción considerable del consumo de agua en el sistema de agua de consensado ya que todas las tuberías fueron cambiadas por lo que ya no habrá fugas de agua que se producían por la fisura de las tuberías.

También en las torres de enfriamiento habrá un considerable ahorro en el consumo de agua ya que no existirán las fugas que había en las torres de enfriamiento antigua (fuga por salpicadura).

A continuación se muestra un cuadro con el consumo de agua en la planta de agua helada del Centro Comercial Larcomar.

CONSUMO DE AGUA EN LA PLANTA DE AGUA HELADA DEL CENTRO COMERCIAL LARCOMAR			
ANTIGUA PLANTA DE AGUA HELADA		NUEVA PLANTA DE AGUA HELADA	
CONSUMO PROMEDIO MENSUAL (m3)		CONSUMO PROMEDIO MENSUAL (m3)	
300		20	
Costo aprox. del m3	s/. 3.00	Costo aprox. del m3	s/. 3.00
<b>Gasto total mensual aprox.</b>	s/. 900.00	<b>Gasto total mensual aprox.</b>	s/. 60.00

*Tabla N°6: Consumo de agua aproximado mensual en la planta de agua helada del Centro Comercial Larcomar.*

*Fuente: Recibo de Luz Mensual – Parque Arauco – Larcomar.*

Como se observa en la tabla n°6, el gasto mensual actual del consumo de agua es de aproximadamente S/. 60.00 y antes del cambio de los equipos y tuberías el consumo de agua era aproximadamente de S/. 900.00, haciendo

una simple resta obtenemos el ahorro mensual de consumo de agua el cual resulta de S/. 840.00.

Ahora calculemos el ahorro anual de consumo de agua (12x S/.840.00) resultando **S/. 10 080.00** (diez mil con ochenta nuevos soles).

Por lo tanto se sustenta la reducción considerablemente de costos de operación de la nueva planta de agua helada del Centro Comercial Larcomar.

- **Reducción de costos de mantenimiento**

En lo que corresponde a la reducción de costos de mantenimiento se elaboró una tabla, el cual nos muestra el plan de mantenimiento de las bombas con la frecuencia que se realiza los respectivos mantenimientos.

PLAN DE MANTENIMIENTO BOMBAS DE CONDENSADO COMPARATIVO BOMBAS CENTRIFUGAS ANTIGUAS VS BOMBAS CENTRIFUGAS NUEVAS			
PIEZA	ACTIVIDAD	FRECUENCIA BOMBAS ANTIGUAS	FRECUENCIA BOMBAS NUEVAS
EQUIPO COMPLETO	Verificar Alineación.	( 30 ) DIAS	( 90 ) DIAS
	Verificar estado físico de flecha.	( 30 ) DIAS	( 90 ) DIAS
BOMBA	Verificar temperatura de cojinetes.	(7 ) DIAS	(15 ) DIAS
	Lubricación de cojinetes.	( 10) DIAS	( 30 ) DIAS
	Empacar prensa estopa.	( 30 ) DIAS	( 30 ) DIAS
	Revisar impulsor.	(90 ) DIAS	(180 ) DIAS
	Revisar caja o cuerpo.	( 90 ) DIAS	( 180 ) DIAS
MOTOR	Lectura de voltaje y amperaje.	(7 ) DIAS	(15 ) DIAS
	Verificar elementos térmicos.	( 14 ) DIAS	( 30 ) DIAS
	Limpieza de arrancador.	( 30 ) DIAS	( 30 ) DIAS
	Limpieza de interruptor de seguridad.	( 30 ) DIAS	( 30 ) DIAS
	Verificar temperatura de cojinetes.	(7) DIAS	(15 ) DIAS
	Lubricar cojinetes.	( 10) DIAS	( 30 ) DIAS
	Cambio de baleros	( 180) DIAS	( 360 ) DIAS
	Lavado interior y rebarnizado.	(90 ) DIAS	( 180 ) DIAS

*Tabla N° 6: Plan de mantenimiento de bombas de agua.*

*Fuente: Área de servicios Carrier – Ascensores S.A.*

De la tabla N° 6 podemos observar que la frecuencia de mantenimiento en las nuevas bombas de agua es mucho mayor en comparación con el mantenimiento de las bombas antiguas, lo que conlleva a menos paradas o menos tiempos muertos de la planta de agua helada.

Que hayan menos tiempos muertos minimizan considerablemente los costos de mantenimiento y más aún maximizan la eficiencia de funcionamiento de la nueva planta de agua helada del Centro Comercial Larcomar.



## CAPITULO VI - CONCLUSIONES

- ✓ Se logró hacer los cálculos respectivos para la selección de la bomba para el sistema de condensación de la planta de agua helada, cabe mencionar que la marca seleccionada (Bell & Gossett), es una de las de menor coste en el mercado por ende fue una razón fundamental para su selección.
- ✓ Se dimensionó el diámetro de la tubería de agua de condensado para todo el recorrido
- ✓ Se seleccionó las bombas verticales netamente por temas de espacio, mantenimiento y menos ruidosa.
- ✓ El uso de variadores de velocidad en las bombas de los sistemas de climatización por agua helada, se torna una alternativa atractiva para el diseño de sistemas eficientes por los beneficios que reportan, ya que el variador de velocidad permite el trabajo de los motores de las bombas de acuerdo a la carga requerida por el sistema.
- ✓ La incorporación de un bypass en el sistema secundaria de agua helada resulta beneficioso debido a que se generan menos pérdidas hidráulicas y por lo tanto la bomba secundaria empleada resulta ser más económica.

## CAPITULO VII - RECOMENDACIONES

- ✓ Al instalar las tres bombas del sistema de condensación de la planta de agua helada, hay alternativas de uso para las mismas, la cual es, realizar un uso interdiario de cada una es decir, un día operará la bomba 1 y al día siguiente operará la bomba 2, de este modo las máquinas tienen un día de trabajo y otro de reposo, lo que aumenta la vida útil de las mismas y reduce las posibilidades de daños y fallas, en el caso de fallas, daños o mantenimiento se cerrará la válvula que las preceda y se le harán los trabajos que le corresponda y quedara la bomba 3 en funcionamiento.
- ✓ Llevar a cabo el mantenimiento preventivo pertinente a cada uno de los equipos y accesorios que forman parte del sistema hidráulico de la planta de agua helada y agua de condensado, así como también un plan de limpieza basado en tratamientos químico aplicado a todas las tuberías, esto con el objetivo de evitar la obstrucción de los equipos y tuberías a causa de la acumulación de partículas sólidas arrastradas por el agua.
- ✓ Modernizar el sistema de tratamiento de agua denominado suavizador y que forma parte del sistema de agua de condensado, este sistema es de vital importancia en el funcionamiento de la planta de agua helada, debido a que evita la alta concentración de sales en el agua enfriada por las torres de enfriamiento y por ende la formación de algas y microorganismos.
- ✓ Instalar un sistema de control centralizado el cuál tomará parámetros de variación de presión, temperatura, etc. Para que la planta de agua helada opere de acuerdo a la demanda de aire acondicionado del Centro Comercial Larcomar obteniendo la mayor eficacia y el reducir considerablemente el gasto innecesario de la energía.

## CAPITULO VIII - BIBLIOGRAFIA

- ✓ Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas, Claudio Mataix, Editorial Dossat .
- ✓ Manual de Aire Acondicionado, Carrier, Editorial Marcombo – 1980.
- ✓ Teoría y práctica de torres de refrigeración, Gregorio Torres Triviño, Editorial Dossat – 1973.
- ✓ Tutorial de Grupos de Bombeo [Página web en línea]. Disponible en [http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%207.%20Bombas/tutorial\\_06.htm](http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%207.%20Bombas/tutorial_06.htm) - 2007.
- ✓ Fundamentos de mecánico de fluidos, Autores: Munson, Young, Okiishi – 5ta Edición.

## ANEXOS

- ✓ Equipos antiguos de la planta de agua helada de Centro Comercial Larcomar



*Foto 1: Chillers y sistema de tuberías de la antigua Planta de Agua Helada del Centro Comercial Larcomar.*





*Foto 2: Bombas del sistema de Condensado de la antigua planta de agua helada del Centro Comercial Larcomar.*





*Foto 3: Torres de enfriamiento a reemplazar en la planta de Agua Helada del Centro Comercial Larcomar.*

- ✓ Equipos instalados en la planta de agua helada de Centro Comercial Larcomar



*Foto 4: Chillers, sistema de tuberías y bombas verticales nuevas del sistema de agua de condensado del Centro Comercial Larcomar.*





*Foto 5: Torres de enfriamiento instaladas en la Nueva Planta de Agua Helada en el Centro Comercial Larcomar.*



*Foto 6: Placa de la bomba seleccionada de la Nueva Planta de Agua Helada del Centro Comercial Larcomar.*





Foto 7: Placa del motor de la bomba seleccionada de la Nueva Planta de Agua Helada del Centro Comercial Larcomar.

